МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

КОНДОР
Київ, 2017

УДК Ж 850
ББК 669.02
Т 381

Рекомендовано до видання рішенням вченої ради Запорізької державної інженерної академії (Протокол №2 від 23.02.2017 р.)

Рецензенти:

Білодіденко С.В., д.т.н., проф., завідувач кафедри «Машин та агрегатів металургійного виробництва» Національної металургійної академії України

Волчок І.П., д.т.н., проф., Завідувач кафедри «Композиційних та порошкових матеріалів і технологій» Запорізького національного технічного університету

Ніколаєв В.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри «Обробки металів тиском» Запорізької державної інженерної академії

Т 381 **Технічне обслуговування металургійного обладнання :** Навчальний посіб. / Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К., Таратута К.В. — К.: Видавничий дім «Кондор», 2017. — 288 с. Іл.:105; табл.:34 ; бібліогр.: 27 назв.

ISBN 978-617-7582-07-5

Розглянуто: організацію проведення технічного обслуговування (ТО) металургійного обладнання, методи і засоби балансування обертальних деталей і вузлів, практичні основи технічного контролю і діагностики, характеристики сучасних мастильних матеріалів та обладнання для змащення, методологію ТО гідро- і пневмосистем, на конкретних прикладах міжремонтне обслуговування металургійних агрегатів.

Для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальностями «Галузеве машинобудування» («Металургійне обладнання», «Обслуговування та ремонт обладнання металургійних підприємств») та «Металургія» і може бути корисним для фахівців металургійних і машинобудівних підприємств.

ISBN 978-617-7582-07-5

ЗМІСТ

Передмова 5

Розділ 1. Нормативно-технічна документація 7

Розділ 2. Організація проведення технічного обслуговування (ТО) 12

1. Зміст, мета, стратегія та методи проведення ТО 12
2. Основні положення організації та проведення ТО 13
3. Орієнтовна періодичність профілактичних оглядів устаткування 18
4. Робоча документація з планування ТО 19
5. Перелік операцій ТО обладнання 30

Розділ 3. Балансування обертальних деталей та вузлів 33

1. Загальні відомості 33
2. Статичне балансування 36
3. Динамічне балансування 41
4. Сучасне обладнання для балансування обертальних деталей 46

Розділ 4. Вимірювання технічних параметрів механічного обладнання 61

1. Вимірювання зусиль і напружень методом тензометрії 61
2. Вимірювання крутних моментів 69
3. Вимірювання переміщень, швидкості і частоти обертання 74

Розділ 5. Діагностика відмов і виявлення дефектів 85

1. Загальні відомості 85
2. Вібраційний моніторинг і діагностика обладнання 86
   - 2.1 Методологія вібраційного моніторингу і діагностування 86
   - 2.2 Апаратура для вібраційного моніторингу і діагностування 89
   - 2.3 Діагностування підшипників ковзання 93
   - 2.4 Діагностування підшипників кочення 99
   - 2.5 Діагностика редукторів 110
3. Тепловий моніторинг і діагностика 129
4. Дефектоскопія 137
5. Специфічні засоби діагностики гідросистем 147

Розділ 6. Змащування обладнання 154

1. Загальні відомості 154
2. Характеристики мастильних матеріалів 155
3. Отримання необхідної в’язкості масел при їх обмеженому асортаменті.. 164
4. Карта і таблиця змащування 165
5. Способи подачі мастильних матеріалів до вузлів тертя. Мастильне обладнання 167
   5.1 Системи рідинного змащування 167
   5.2 Системи пластичного змащування.. 174
   5.3 Мастильні системи «масло-повітря» (СМП)............................ 182
   5.4 Системи мастильні плівкові (ССП) 186
6. Розрахунки потреб у мастильних матеріалах.............................. 190
   6.1 Розрахунки для картерних систем рідинного змащення......... 190
   6.2 Розрахунки для циркуляційної системи рідинного змащування 192
   6.3 Розрахунки потреб в пластичному мастилі 192
7. Терміни служіння мастильних матеріалів та їх очищення і регенерація 194

Розділ 7. Технічне обслуговування гідро- і пневмосистем.......... 203

1. Поняття про тиск і його різновиди 204
2. Властивості робочих рідин... 204
3. Основні відомості стосовно гідравліки трубопроводів 208
4. Рекомендації щодо вибору робочих рідин.................................... 212
5. Особливості пневматичних систем 215
6. Умовні позначення елементів гідро- і пневмоприводів 217
7. Перевірення і випробування обладнання...................................... 233
8. Ресурс та напрацювання гідроприводів і їх елементів 243
9. Характерні несправності в роботі гідросистем та заходи щодо їх усунення 249
10. Контроль стану і параметрів роботи гідросистем 253

Розділ 8. Міжремонтне обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів 257

Література 275

Додатки 277

ПЕРЕДМОВА

Технічне обслуговування (ТО) є одним із головних заходів, що забезпечує нормальне функціонування устаткування згідно із запланованими термінами його використання. Загалом же система ТО являє собою сукупність організаційних , технічних та інших заходів, спрямованих на підтримання в технічно справному стані устаткування, забезпечення надійності його роботи, виконання вимог охорони праці та навколишнього природного середовища. І вона є лише частиною системі технічного обслуговування та ремонту техніки (ТОіР). Тобто ТО не є поточним чи капітальним ремонтом або поліпшенням основних фондів. ТО устаткування лише передбачає наступне: перевірку технічного стану, виконання робіт щодо підтримання технічно справного стану та належного зовнішнього вигляду, усунення виявлених несправностей (див. Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу, № 200 від 06.06.2005).

В той же час в існуючих підручниках і посібниках, виданих під дисципліну «Монтаж, експлуатація і ремонт обладнання», інформація на предмет ТО є дуже обмеженою і поверхневою, оскільки займає лише декілька сторінок. Тому метою даного посібника є усунення цих прогалин і подання матеріалу в такому аспекті, щоб на ньому стало можливим належно готувати фахівців-експлуатаційників.

Особливу увагу в посібнику приділено технічному контролю і діагностиці та змащенню устаткування, технічному обслуговуванню гідро- і пневмосистем, методології міжремонтного обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів.

Найгострішою проблемою вітчизняного металургійного (і не тільки) виробництва є загрозливе відставання від провідних країн (і навіть від Росії) щодо використання сучасних засобів контролю і, тим більш, діагностики.

В той час, як застосування цих засобів дозволило б значно підвищувати надійність і ресурс обладнання шляхом виявлення на ранніх стадіях дефектів і несправностей та причин їх виникнення, оскільки це дозволяє попередити і усунути їх розвиток і за рахунок цього відвернути відмови і аварії обладнання, які призводять до негативних наслідків. Вкрай важливим є те, що технічне діагностування

дозволяє визначати технічний стан об’єктів без їх розібрання. Без нього, як показує досвід, пошуки несправностей можуть займати у середньому до 50% від загального часу ремонтних робіт. Більш того, діагностування дозволяє взагалі усунути незаплановані простої обладнання і остаточну втрату ремонтопридатності відповідальних вузлів і деталей. Діагностування також дозволяє отримувати найбільш повну інформацію для забезпечення оптимального регулювання роботи обладнання із забезпеченням виконання заданої роботи при найменшому споживанні ресурсів.

У посібнику достатньо повно подана інформація щодо способів і засобів технічного контролю і діагностики, яка вкрай необхідна для підготовки висококласних фахівців-експлуатаційників.

В існуючих посібниках і підручниках, що призначені для підготовки фахівців з металургійного обладнання, практично повністю відсутня інформація щодо технічного обслуговування гідро- і пневмосистем, хоча з кожним роком розширюються сфери їх використання. У даному ж посібнику цьому питанню приділена належна увага. Причому, щоб студенти краще розумілись на ТО цих систем, у посібнику розглянуто необхідні відомості із гідравліки.

Корисним для підготовки фахівців будуть і практичні приклади стосовно опису міжремонтного обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів.

Книга призначена як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальностями «Галузеве ма- шинобудування» («Металургійне обладнання», «Обслуговування та ремонт обладнання металургійних підприємств») та «Металургія» і може бути корисна для фахівців металургійних і машинобудівних підприємств .

Автори щиро вдячні студентам Запорізької державної інженерної академії за допомогу у розробці електронного макета посібника.

Розділ 1
Нормативно-технічна документація

Технічне обслуговування є однією із складових стадії життєвого циклу обладнання — *експлуатації*, до якої також входять інші складові: уведення об’єкта в експлуатацію (монтаж, налагодження), використання його за призначенням (технологічна експлуатація), зберігання в процесі експлуатації (витримування оптимальних режимів роботи), поточні ремонти, припинення експлуатації (списання, передавання, утилізація, знищення).

Одним із головних нормативних документів, згідно з яким металургійним підприємствам незалежно від форми власності, що входять до сфери діяльності Мінпромполітики України, належить керуватись і проводити у відповідність до нього свої внутрішні розпорядчі документи з питань технологічного обслуговування обладнання, є «Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» (затверджене Наказом Міністерства промислової політики України 15.06.2004 № 285 із внесеними змінами від 06.06.2005).

Положення розроблено у відповідності до таких нормативно-правових та нормативно-технічних актів з урахуванням прийнятих у встановленому порядку змін і доповнень:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 2391-94 «Система технологічної документації. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення»;
- ДСТУ 3321-96 «Система конструкторської документації. Терміни та визначення»;
- ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення»;
- ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения»;

- ГОСТ 23887-79 «Сборка. Термины и определения»;
- ГОСТ 27.004-85 «Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения»;
- ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий».

У положенні стосовно технічного обслуговування (ТО) використо-вуються терміни в такому значенні:

- *система технічного обслуговування устаткування (СТОУ)* — сукупність організаційних, технічних та інших заходів, необхідних для підтримання в технічно справному стані устаткування при використанні за призначенням, перебуванні в резерві, очікування, зберіганні і транспортуванні;
- *технічне обслуговування* — комплекс операцій чи операція для підтримки справного стану чи працездатності об'єкта при використанні його за призначенням, під час простою, зберігання і транспортування;
- *технічне обслуговування і ремонт (ТОіР)* — сукупність усіх технічних та організаційних дій, у тому числі й технічного нагляду, спрямованих на підтримку чи повернення об'єкта в стан, у якому він здатний виконувати потрібну функцію;
- *стратегія технічного обслуговування та ремонту* — система принципів організації й проведення технічного обслуговування та ремонту;
- *операція технічного обслуговування та ремонту* — послідовність елементарних технологічних дій з технічного обслуговування, та ремонту, які проводять із заданою метою;
- *тривалість технічного обслуговування* — частина тривалості *ТО* та ремонту, протягом якої здійснюють технічне обслуговування об'єкта, ураховуючи тривалість затримок з технічних причин та тривалість затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами, притаманних технічному обслуговуванню;
- *періодичність ТО* — інтервал часу або напрацювання від даного виду *ТО* до наступного такого самого виду *ТО* або *ТО* більшої складності;
- *цикл ТО* — найменший повторюваний інтервал часу чи напрацювання виробу, протягом якого виконуються у визначеній послідовності згідно з вимогами нормативно-технічної або експлуатаційної документації усі встановленні види періодичного *ТО*;

- *ТО при використанні* — технічне обслуговування при підготовці до використання за призначенням, використанням за призначенням, а також безпосередньо після його закінчення;
- *номерне ТО* — технічне обслуговування, за яким визначеному обсягу робіт привласнюється певний порядковий номер;
- *планове ТО* — технічне обслуговування, постановка на яке здійснюється згідно з вимогами нормативно-технічної або експлуатаційної документації;
- *непланове ТО* — технічне обслуговування, постановка на яке здійснюється без попереднього призначення за технічним станом;
- *періодичне ТО* — технічне обслуговування, яке виконується через установлені в експлуатаційній документації значення напрацювання або інтервали часу;
- *регламентоване ТО* — технічне обслуговування, яке передбачене в нормативно-технічній або експлуатаційній документації і виконується з періодичністю і в обсязі, установленими в ній, незалежно від технічного стану виробу в момент початку технічного обслуговування;
- *ТО з періодичним контролем* — технічне обслуговування, при якому контроль технічного стану виконується з установленими в нормативно-технічній документації періодичністю й обсягом, або обсяг інших операцій визначається технічним станом виробу в момент початку технічного обслуговування;
- *ТО з безперервним контролем* — технічне обслуговування, яке передбачено в нормативно-технічній або експлуатаційній документації і виконується за результатами контролю технічного стану об’єктів;
- *потоковий метод ТО* — метод виконання технічного обслуговування на спеціальних робочих місцях з визначеними технологічною послідовністю і ритмом;
- *централізований метод ТО* — метод виконання технічного обслуговування персоналом і засобами одного підрозділу організації або підприємства;
- *децентралізований метод ТО* — метод виконання технічного обслуговування персоналом і засобами декількох підрозділів організації або підприємства;
- *метод ТО експлуатаційним персоналом* — метод виконання технічного обслуговування обслуговуючим персоналом, що працює на даному об’єкті, при використанні його за призначенням;

▪ *метод ТО спеціалізованим персоналом* — метод виконання технічного обслуговування персоналом, спеціалізованим на виконанні операцій *ТО*;

▪ *метод ТО спеціалізованою організацією* — метод виконання технічного обслуговування організацією, спеціалізованою на операціях *ТО*;

▪ *метод ТО обслуговування фірмовий* — метод виконання технічного обслуговування підприємством — виробником виробу (об'єкта).

В положенні також дається формулювання інструкції з ТО, яка являє собою експлуатаційний документ, що містить єдині правила ТО виробу і його складових частин.

Також наявні нормативні документи для окремих підприємств галузі, наприклад: «Положення про технічне обслуговування устаткування коксохімічних підприємств» (затверджене Наказом Міністерства промислової політики України 14.10.2005р N 387), «Положення про технічне обслуговування та ремонту механічного обладнання коксохімічних підприємств» (затверджене Наказом Міністерства промислової політики України 10.10.2006р N 361) та інші.

Іншим нормативним документом, вимог якого мають додержуватись підприємства, є міждержавний стандарт ГОСТ2.601-95 «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.» В 5-му розділі стандарту наведено вимоги до побудови, змісту і викладення документів, куди входить і частина «технологічне обслуговування.» Одним із головних нормативних джерел, на якому побудована «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы» є, як і в Положенні про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу, ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения»

В доповненій редакції «Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» в п. 1.3.7. вказано наступне:

Положення у частині, яка не суперечить цьому положенню:

▪ «Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) механического оборудования предприятий системы Министерства черной металлургии СССР», затверджене Заступником міністра чорної металургії СРСР А.Р. Борисовим 25.01.1982 р.

- «Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования и транспортных средств на предприятиях Министерства цветной металлургии СССР», затверджене Міністром кольорової металургії СРСР П.Ф. Ломако 06.10.1981 р.

Цей запис свідчить про те, що в роботі можна керуватись цими двома документами, зокрема відомостями щодо оформлення документації на ТО і ремонти, визначення періодичності, тривалості і трудомісткості ремонтів та інше. Але слід мати на увазі, що вони різняться між собою стосовно форми технічної документації, деяких питань організації структури ТОіР та нормативів періодичності, тривалості і трудомісткості однотипного технологічного обладнання (наприклад, дробарок, млинів, змішувачів і т.д.).

Розділ 2
Організація проведення технічного обслуговування (ТО)

1. ЗМІСТ, МЕТА, СТРАТЕГІЯ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ТО

Система ТО устаткування, як виходить із Положення, має містити у собі сукупність організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на підтримання в технічно справному стані устаткування, забезпечення надійності його роботи, виконання вимог охорони праці та навколишнього природного середовища.

ТО не є поточним чи капітальним ремонтом, що вказано в Положенні (пункт 4.2). Метою ТО є підтримання технічно справного стану, запобігання передчасному зносу устаткування та його складових частин, забезпечення виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища.

Упровадження системи ТО устаткування включає наступне:

- розробку та впровадження стратегії організації і проведення ТО (див. попередній розділ);
- дотримання вимог правил і норм ТО та експлуатації устаткування, організацію контролю за їх дотриманням;
- організацію систематичного спостереження та контроль технічного стану, параметрів і часу роботи устаткування та його складових частин;
- планування і проведення періодичних технічних оглядів устаткування;
- визначення складу та строків проведення робіт ТО з урахуванням оброблених даних діагностичних і контрольно-вимірювальних приладів, систематичних спостережень за станом і умовами експлуатації устаткування;
- розробку й удосконалення норм ТО устаткування;
- організацію виробничої бази для підготовки та проведення ТО, забезпечення її кваліфікованою робочою силою, технічною та нормативною документацією, необхідними діагностичними приладами, інструментами, а також організацією їх обліку і зберігання;
- організацію матеріально-технічного збереження матеріалами, запасними частинами та змінним обладнанням, необхідними для під-

тримання устаткування у технічно справному стані та збереження здатності його до використання;

- організацію раціонального документообігу;
- удосконалення організації та нормування праці робітників, які займаються ТО, нормування витрат матеріальних ресурсів;
- організацію обліку й аналізу витрат на ТО устаткування (витрати на оплату праці робітників з відрахуваннями на соціальні заходи, вартість матеріалів, запасних частин та деталей, витрати на налагодження, заміну та відновлення змінного обладнання; вартість допоміжних і інших виробництв, підрядних організацій, які виконують ТО).

Стратегія проведення ТО визначає види і методи ТО, які застосовуються на підприємстві для різних видів устаткування, При цьому повний обсяг виконання ТО має відбуватись при мінімальних витратах людських і матеріально-технічних ресурсів. Вона розробляється підприємством з урахуванням вимог Правил технічної експлуатації (ПТЕ), нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища. Згідно з обраною стратегією проведення ТО та наявністю діагностичного устаткування можуть використовуватись наступні *види ТО: планове; непланове; періодичне; номерне; регламентоване; сезонне; ТО з періодичним контролем; ТО з безперервним контролем* (характеристика видів ТО наведена в попередньому розділі).

Згідно з обраною стратегією можуть використовуватись наступні *методи проведення ТО:* потоковий; децентралізований; централізований; фірмовий; метод проведення ТО експлуатаційним персоналом; метод проведення ТО організацією, яка експлуатує устаткування; метод проведення ТО спеціалізованою організацією (характеристика кожного з методів наведена в попередньому розділі).

2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ТО

ТО устаткування передбачає наступне: перевірку технічного стану, виконання робіт щодо підтримки технічного справного стану та належного зовнішнього вигляду, усунення виявлених несправностей.

В положенні про технічне обслуговування в додатковій частині наведено перелік операцій, які належать до ТО устаткування підпри-

ємств гірничо-металургійного комплексу. В даному ж посібнику надано лише перелік основних операцій, що виконуються при ТО металургійного механічного обладнання. Проте детальніші переліки робіт розробляються у нормативно-технічних актах для підгалузей гірничо-металургійного комплексу. Наприклад, кольорова металургія своїми технологіями і, отже, обладнанням суттєво відрізняється від чорної металургії. Навіть однотипне обладнання (як то дробарки) перебуває у відмінних умовах.

У разі відсутності переліків у НТА, як оголошується в Положенні, вони розроблюються підприємством з урахуванням даного Положення, специфіки підприємства і затверджуються наказом на підприємстві.

Види та норми ТО, тривалість та періодичність ТО (для періодичних методів) затверджуються керівником підприємства або уповноваженими ним особами згідно з обраною стратегією проведення ТО.

ТО проводиться згідно з Правилами технічної експлуатації (ПТЕ), картами ТО, інструкціями з ТО, останні з яких розробляються підприємствами і затверджуються керівництвом підприємства в разі їх відсутності у документації на обладнання. На випадок розроблення цих інструкцій обов'язково мають враховуватись вимоги експлуатаційної документації, типовими ПТЕ за видами устаткування, нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища та інструкцій заводів-виробників устаткування.

ПТЕ установлюють основні положення, що передбачають раціональну технічну експлуатацію технологічного обладнання, його надійність і безпечність обслуговуючого персоналу. ПТЕ регламентують проведення оглядів обладнання при прийманні зміни і під час роботи технологічним персоналом і персоналом механослужби, ТО під час роботи і зупинок, періодичних оглядів обладнання інженерно-технічними працівниками, проведення ремонтів. ПТЕ містить рекомендації з налагодження, регулювання, визначення непридатності зношених деталей. Для цього в них мають бути поміщені описання будови і конструкцій обладнання, загальні і кінематичні схеми, схеми змащування і кріплення.

Відповідальність за додержування ПТЕ несуть головний інженер і головний механік в межах всього підприємства, начальники цехів, їх замісники і помічники з обладнання (в межах цеху), цехові ІТП

(в межах своєї компетенції), кожний робітник (в межах закріпленого за ним обладнання).

Все устаткування згідно з Положенням має закріплятись за певними бригадами (чи окремими робітниками бригади) ремонтного, чергового й експлуатаційного персоналу цеху. При цьому відповідальними за його працездатність протягом зміни також є експлуатаційний і черговий персонал.

ТО виконується черговим, ремонтним і експлуатаційним персоналом виробничих цехів, персоналом спеціалізованих підрозділів підприємства, та спеціалізованих підприємств згідно з ПТЕ, інструкціями, графіками проведення ТО, картами ТО і відомостями обсягів робіт на ТО (складаються в обов'язковому порядку лише при залученні спеціалізованих підрядних організацій).

Стан устаткування протягом зміни експлуатаційний і черговий персонал повинен фіксувати в журналах приймання та здавання змін, а також у вахтових журналах машиністів вантажопідйомних машин.

У журналах мають бути зафіксовані наступні моменти:

- результати оглядів закріпленого устаткування згідно із затвердженим графіком ТО, стан устаткування протягом зміни, дефекти і несправності, що порушують його працездатність або безпеку умов праці;
- заходи, які були проведені для усунення дефектів і несправностей;
- випадки порушення ПТЕ устаткування та технології виробництва.

Дані журналів використовуються для визначення переліку й обсягу робіт з усунення несправностей й цій зміні, а також при найближчій зупинці устаткування на планове ТО або ремонт.

Експлуатаційний, черговий і ремонтний персонал згідно Положення протягом зміни зобов'язаний виконувати наступні операції:

- здійснювати технічні огляди устаткування на закріплених ділянках згідно з графіками, затвердженими головними спеціалістами підприємства;
- систематично спостерігати за роботою устаткування (знімати показання контрольно-вимірювальних приладів, контролювати ступінь нагрівання вузлів і достатність надходження до них мастильних матеріалів, стан футеровки тощо), регулярно вести запис в журналі приймання та здавання змін;

- проводити заміну швидкозношувальних частин і змінного обладнання. Перелік змінного обладнання наведено в додатку Д.1. До нього належить також складові частини обладнання;
- виконувати вогневі та електрозварювальні роботи для підтримання працездатності елементів устаткування, до яких допускаються лише особи, що мають на це право;
- усувати дрібні несправності й неполадки в роботі устаткування проводити ревізію деталей і вузлів з метою запобігання виходу їх з ладу, запобігання втратам мастильних матеріалів, пари, газу, сировини, матеріалів, продуктів переробки, викидів шкідливих речовин у повітря, використовуючи для цього міжзмінні зупинки, внутрішньо змінні технологічні паузи, а в разі потреби спеціально зупиняють для цього устаткування згідно з діючими правилами його зупинки;
- регулювати пристрої, механізми, схеми і системи змащування вузлів устаткування мастильними матеріалами певного сорту в установленому режимі і забезпечувати подачу їх централізованими системами пластичного і рідкого змащування;
- перевіряти кріплення контрвантажів, кришок, підшипників, редукторів, корпусів механізмів, важелів, пасків, ланцюгів, зубчастих та фрикційних коліс, інші елементи відкритих передач та інших деталей і вузлів машин, послаблення кріплення яких може викликати аварійну зупинку агрегату, а у разі потреби заміняти кріпильні вироби та підсилювати з'єднання деталей або вузлів машин (болтові, шпонкові, шпилькові, гвинтові, заклепкові, клейові, зварні, паяні, на шурупах, на цвяхах тощо).
- стежити за безперервним надходженням холодоагентів та мастила для охолодження та змащування механізмів, перевіряти справність деталей і вузлів магістралей води та інших холодоагентів, стиснутого повітря і змащування;
- перевіряти на відсутність витоку мастила із зубчастих муфт, редукторів, картерів та інших ємкостей, перевіряти ступінь нагрівання вузлів машин, наявність мастила у ваннах картерних систем, характер шуму в редукторах, зубчастих передачах і підшипниках, уживати заходів щодо усунення виявлених несправностей;
- оглядати сталеві канати, перевіряти і регулювати натяг ланцюгів, транспортних стрічок, з'єднання або заміну ланцюгів, пасків, стрічок;

- стежити за наявністю, справністю і кріпленням огорож, а в разі потреби їх відновлювати;
- при прийманні-здаванні зміни оглядати устаткування повинні: чергові слюсарі та електрики, мастильники, сантехніки (на закріпленій дільниці), машиністи (оператори, апаратники), їхні помічники й експлуатаційний персонал на закріпленому за ними устаткуванні.

При технічних оглядах під час приймання змін необхідно:

- перевіряти деталі та вузли, механізми, у роботі яких під час попередньої зміни виявлені дефекти й несправності;
- перевіряти надійність кріплення вузлів і деталей, ослаблення яких при подальшій роботі може викликати відмову в роботі або зупинку устаткування;
- перевіряти справність мастильних пристроїв та їх герметичність;
- перевіряти герметичність ущільнень насосного устаткування, трубопроводів та інше;
- контролювати технічний стан устаткування за характером шуму та вібрації;
- перевіряти справність захисних огорож;
- у разі потреби усувати несправності й неполадки, виявлені в процесі перевірки роботи устаткування;
- перевіряти наявність інструмента і пристосувань, запасних частин;
- перевіряти чистоту устаткування і робочого місця.

Ремонтний персонал виробничих цехів при проведенні ТО спільно з експлуатаційним і черговим персоналом зобов'язаний:

- здійснювати профілактичні огляди закріпленого за ним устаткування згідно з установленими графіками, технологічними регламентами тощо;
- виконувати регулювальні та налагоджувальні роботи, приймати участь у проведенні випробовувань машин і механізмів, перевіряти справність захисних блокувань;
- усувати виявлені при огляді дефекти і несправності, що порушують нормальну роботу устаткування або здатні викликати його зупинку.

Експлуатаційний, черговий і ремонтний персонал перед здаванням зміни, під час технічних оглядів і проведення профілактик повинен очищати устаткування і прибирати робочі місця.

Посадові особи ремонтної служби структурного підрозділу повинні періодично перевіряти технічний стан устаткування згідно з графіком, затвердженим головними спеціалістами підприємства.

Результати оглядів і всі зміни в стані устаткування повинні бути зафіксовані в агрегатних журналах відповідного устаткування.

При прийманні змін в процесі ТО устаткування персонал повинен дотримуватись діючої биркової системи, яка визначена НАОП–1.2.10-2.01–79–ОСТ 14.55-79 «Биркова система на підприємствах чорної металургії. Основні положення. Порядок застосування».

Для контролю технічного стану, пошуку місця та визначення причини відмови (несправності) та прогнозування технічного стану устаткування належить здійснювати *періодичне діагностування*. Воно має містити в собі наступні моменти:

- моніторинг та документування змін технічного стану устаткування, виявлення причин, що їх викликали;
- проведення діагностики технічного стану методами неруйнівного контролю;
- визначення обсягів ремонтних робіт з ТО за результатами діагностичного контролю.

Зупинки та пуски устаткування для технічного діагностування повинні бути мотивованими і фіксуватись у відповідних документах.

Вантажопідйомні крани і механізми, усі види підйомників, а також посудини і пристрої, що працюють під тиском, крім звичайних профілактичних оглядів підлягають технічному огляду і випробування м, які виконують особи, відповідальні за утримання вантажопідйомних машин в справному стані, згідно з діючими правилами Держгіртехнагляду.

3. ОРІЄНТОВАНА ПЕРІОДИЧНІСТЬ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ОГЛЯДІВ УСТАТКУВАННЯ

Планові профілактичні огляди механічного обладнання повинні здійснювати всі без винятку працівники механослужби, починаючи від чергового слюсаря і закінчуючи головним механіком підприємства, проте обсяг, зміст і періодичність оглядів для них різні.

Планові огляди обладнання інженерно-технічними працівниками механослужби (помічник начальника цеху з обладнання або стар-

ший механік, механік, майстер) мають виконуватись з періодичністю, передбаченою правилами технічної експлуатації (ПТЕ) обладнання відповідних виробництв.

Щорічно за місяць до початку планового року помічник начальника цеху з обладнання (або старший механік) складає графік технічних оглядів обладнання цеху інженерно-технічними працівниками і графіки технічного обслуговування його ремонтним персоналом. Ці графіки погоджуються з начальником цеху і затверджуються головним механіком підприємства.

Метою оглядів інженерно-технічними працівниками є виявлення несправностей, здатних призвести до руйнування чи аварійного виходу обладнання із ладу, встановлення технічного стану найбільш відповідальних деталей і вузлів машин і уточнення обсягів наступних планових ремонтів. Виявленні при оглядах дефекти обладнання записують в агрегатних журналах, заведених на всі основні агрегати і машини. В ці журнали також записують результати ревізій обладнання, що виконуються за графіком під час ремонтів. При побудові графіків огляду обладнання орієнтовно керуються такою періодичністю: майстер-механік дільниці повинен оглядати обладнання всієї дільниці один раз за два тижні, механік цеху — за два місяці, помічник начальника цеху — за чотири місяці. Замісник головного механіка повинен оглянути обладнання всіх цехів один раз за 6 місяців, головний механік — все обладнання підприємства один раз за рік. Час цих оглядів поєднують з часом визначення технічного стану основних технологічних агрегатів і машин, що мають ввійти у графік капітальних ремонтів на наступний календарний рік.

З періодичністю 1 — 2 роки доцільно проводити силами відділу головного механіка (ВГМ) комплексне обстеження технічного стану обладнання всіх цехів з наступною розробкою заходів з усунення виявлених недоліків і що саме головне, — з контролем виконання заходів згідно з попереднім обстеженням.

4. РОБОЧА ДОКУМЕНТАЦІЯ З ПЛАНУВАННЯ ТО

Основними документами з організації та планування ТО є:

- *річний графік ТО* устаткування (припускається у скороченому вмісті до необхідного обсягу або може бути відсутнім);

- *місячний графік ТО устаткування*, складений з урахуванням технічного стану устаткування (припускається використання типових графіків);
- *графіки проведення технічних оглядів* устаткування (за визначенням
- правил технічний огляд — захід, який виконується ручним чи автоматичним засобом з метою спостереження за станом об'єкта);
- *норми періодичності технічних оглядів і випробовувань* устаткування, для якого проведення технічних оглядів і випробовувань передбачені правила технічної експлуатації (ПТЕ), нормативно-правовими актами з охорони праці та іншими нормативними документами;
- *технічна документація, яка забезпечує інженерну підготовку ТО* — технологічні карти, технічні умови, схеми, креслення (у необхідному обсязі);
- *інструкції з ТО окремих видів устаткування* (у необхідному обсязі);
- *інструкції з експлуатації устаткування* (припускаються у скороченому до необхідного обсягу);
- *журнал приймання та здавання змін* черговим персоналом механослужби;
- *журнали приймання та здавання змін експлуатаційним персоналом;*
- *перелік професій експлуатаційного персоналу та видів робіт*, що виконуються ними з *ТО* і затверджений керівництвом підприємства;
- *відомість обсягів робіт* (складається в обов'язковому порядку, якщо для проведення *ТО* залучається підрядна організація);
- *кошторисна документація* (складається в обов'язковому порядку, якщо для проведення *ТО* залучається підрядна організація).

Склад та зміст документації щодо організації ТО та забезпечення запасними частинами і матеріалами розробляються службами за належністю та затверджуються курівництвом підприємства.

Результати оглядів і всі зміни в стані устаткування мають заноситись в *агрегатний журнал*.

Серед перерахованої документації найбільш часто застосовуються журнали приймання та здавання змін черговим персоналом механослужби (рис. 2.1), журнал приймання та здавання змін експлуа-

таційним персоналом (рис. 2.2) та агрегатний журнал (рис. 2.3). Нижче наведені пояснення щодо заповнення цих журналів.

ЖУРНАЛ ПРИЙМАННЯ І ЗДАВАННЯ ЗМІН ЧЕРГОВИМ ПЕРСОНАЛОМ

Журнал є первинним документом, що відображає стан і працездатність діючого обладнання і слугує для обліку і контролю роботи чергового персоналу механослужби цеху (рис. 2.1).

Робітник, що приймає зміну до її початку, зобов'язаний ознайомитись із записами в журналі, що зроблені в попередній зміні.

Приймання і здавання засвідчується підписами осіб, які здають і приймають зміну (графа 8).

В журналі мають фіксуватись наступні моменти:

- результати оглядів закріпленого обладнання за графіком (вказується найменування) оглянутого обладнання і перелік виконаних робіт з технічного обслуговування (графа 3);
- всі дефекти і несправності, що порушують нормальну роботу обладнання чи безпечність умов праці (графа 4);
- заходи, які прийняті для усунення дефектів і несправностей (графа 5);
- порушення технологічним персоналом правил технічної експлуатації обладнання і прізвища порушників (графа 6);
- тривалість простою обладнання при усуненні дефектів і несправностей (графа 7).

Правильність записів засвідчується підписом начальника зміни (графа 9). У випадках порушення правил технічної експлуатації, допущенні руйнувань і аварій начальник зміни робить запис про заходи, що направлені на попередження подібних випадків і про покарання порушників ПТЕ.

Відповідальність за стан і правильність ведення журналу покладається на механіка цеху, який зобов'язаний щоденно проглядати записи в журналі і давати письмові вказівки майстру-механіку про заходи, що необхідні для повного відновлення працездатності обладнання.

Вимагається, щоб журнал тримався в чистоті, а записи в ньому виконувались чітко, розбірливо і без виправлень.

Форма П.2.1

Підприємство (завод, комбінат)____________________
Цех ____

Журнал
приймання та здавання змін
черговим персоналом механослужби

Журнал розпочато___________________________________
(дата)
Журнал закінчено___________________________________
(дата)
В журналі ________________________сторінок

а

Найменування устаткування, що закріплене за дільницею	П.І.Б. особи і № бригади, за якими закріплено устаткування	Періодичність чи дата огляду або технічного обслуговування

б

Рис. 2.1
Титульний лист (а) і зворотна (б) сторона форми журналу

Форма П.2.1

«___» _______ 20__ р.
(число, місяць)

Прізвище бригадира, № бригади	Зміна	Результати оглядів закріпленого устаткування і зауваження до наступного поточного ремонту	Дефекти і несправності, що виявлені на протязі зміни	Заходи, що прийняті для усунення дефектів	Порушення правил технічної експлуатації і прізвища порушників	Тривалість простою, год.-хв.	Підпис осіб, що здали і прийняли зміну	Підпис начальника зміни і його зауваження
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ткачук бригада №2	*I*	*Оглянуті натискний пристрій і універсальні шпинделі блюмінга. Виявлено підвищені розміри поздовжнього переміщення вала шпинделя.*	*Рольганг за кліттю «тріо» мав підвищений (80 ℃) нагрів підшипників 1-ї передачі редуктора привода. Після доливання мастила в редуктор нагрів зменшився до нормального.*	*Оператор Жигло І.П. передчасно ввімкнув кантувач, через що відбулось руйнування важеля. Важіль замінено.*	–	*0–10*	*Здав – Ткачук Прийняв — Матвеєв Зауваження: При прийманні зміни вияв-лено наступне: не змащено підшипник 1-го ролика рольганга за кліттю «тріо» Здав - Прийняв*	*Підпис — Сідоренко Зауваження: Зроблено подання начальнику цеху про позбавлення оператора Жигла за допущення аварії.*

Вказівки і підпис механіка цеху

Відмітка про виконання вказівок механіка цеху

Підпис

Рисунок 2.1
Продовження форми

ЖУРНАЛ ПРИЙМАННЯ І ЗДАВАННЯ ЗМІН ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМ ПЕРСОНАЛОМ

Журнал також є первинним документом, який віддзеркалює стан і працездатність діючого обладнання і слугує для обліку і контролю роботи операторів, машиністів і іншого експлуатаційного персоналу (рис. 2.2).

Робітник, що приймає зміну до її початку, зобов'язаний ознайомитись із записами в журналі, що зроблені в попередній зміні.

Приймання і здавання зміни засвідчується підписами осіб, які прийняли і здали зміну (графа 5).

В журналі мають фіксуватись наступні моменти (графа 3):

- результати оглядів закріпленого обладнання за графіком (вказуються найменування оглянутого обладнання і перелік виконаних робіт з технічного обслуговування);
- всі дефекти, неполадки і несправності, що порушують нормальну роботу обладнання чи безпеку умов праці;
- заходи, прийняті для усунення дефектів і несправностей;
- випадки порушення правил технічної експлуатації і прізвища порушників;
- тривалість простою обладнання при усуненні дефектів і несправностей (графа 4).

Правильність записів засвідчується підписом начальника зміни (графа 6). У випадках порушення ПТЕ, допущення руйнувань і аварій начальник зміни робить запис щодо заходів, що прийняті для попередження подібних випадків і про покарання порушників ПТЕ.

Відповідальність за стан і правильність ведення журналу покладається на майстра-технолога дільниці.

На зворотній стороні титульного листа журналу майстер дільниці, якому підпорядковані оператори, заповнює дані про закріплення обладнання дільниці за окремими робітниками, дати і періодичність обслуговування.

Форма П.2.2

Підприємство (завод, комбінат)________________
Цех____

Журнал
приймання і здавання змін експлуатаційним персоналом

____
(найменування дільниці чи машини цеху)
____
(найменування професії)

Журнал розпочато _________________________________
(дата)
Журнал закінчено _________________________________
(дата)
В журналі ________________________сторінок

а

Найменування устаткування, що закріплене за дільницею	П.І.Б. особи і № бригади, за якими закріплено устаткування	Періодичність чи дата огляду або технічного обслуговування

б

Рис 2.2
Титульний лист (а) і зворотна (б) сторони форми журналу

Форма П.2.2

«___»_______ 20__ р.
(число, місяць)

Прізвище відповідальної особи і № бригади	Зміна	а) результати оглядів устаткування і зауваження до наступного поточного ремонту; б) дефекти і неполадки, виявлені на протязі зміни; в) заходи, прийняті для усунення дефектів; г) порушення правил технічної експлуатації і прізвища порушників	Тривалість простою, год.-хв.	Підписи осіб, що здали і прийняли зміну	Підпис начальника зміни (майстра-технолога, механіка цеху) і його зауваження
1	2	3	4	5	6
Петренко бригада №2	*I*	*а) Оглянуті маніпулятор, кантувач, робочі рольганги з передньої сторони. Здійснено прибирання окалини і бруду на дільниці.* *б,в) Здійснювали регулювання проводок в зв'язку з їх зносом. При черговому ремонті їх належить замінити.* *г) Обладнання працювало нормально, порушень правил технічної експлуатації не було.*	*0–15*	*Здав — Петренко* *Прийняв — Матвєєв* *Зауваження. При прийманні зміни виявлено: витікання мастила в правому підшипнику третього ролика робочого рольганга задньої сторони кліті. Не прибрано бруд під опорою маніпулятора. Здав — Прийняв — Зауваження.*	*Попов*

Рисунок 2.2
Продовження форми журналу

Журнал ведуть тільки оператори професій, перелік яких визначає начальник цеху за погодженням з головним механіком заводу.

АГРЕГАТНИЙ ЖУРНАЛ

Агрегатний журнал слугує для систематичного накопичення даних про технічний стан і працездатність діючого обладнання під час експлуатації і є основним вихідним документом для встановлення змісту і обсягів ремонтних робіт, а також термінів служіння вузлів і деталей обладнання (рис. 2.3).

Форма П.2.4

Підприємство (комбінат, завод)______________________

Цех____

АГРЕГАТНИЙ ЖУРНАЛ №

Журнал розпочато_______________________________
(дата)

Журнал закінчено ________________________________
(дата)

ЗМІСТ

	Найменування машин і механізмів	Сторінки	

Рисунок 2.3
Титульний лист агрегатного журналу

Форма П.2.4

Найменування агрегату, машини, механізму Механізм нахилу сталеплавильної печі №5

Дата огляду чи ревізії	Найменування вузла	Результати огляду, коротка характеристика дефектів	Підпис особи, що провела огляд	Дата ремонту	Перелік робіт з усунення дефектів	Вузли і деталі, що замінені під час ремонту		Підпис майстра чи механіка
						Найменування, кількість, шт., термін служіння, місяців	Причина виходу із ладу. Пропозиції з удосконалення	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
03.03.11	*Лівий поршневий гідроциліндр*	*Виявлено сильний витік масла через ущільнення штока, що, крім втрат масла, не дає можливості підтримувати необхідний тиск у верхній порож-нині лівого гідро-циліндра.*	*Павленко*	*04.03.11*	*Повністю замінено пакет манжет, установлена нова напрямна втулка штока.*	*Манжети ущільнення штока — 6 шт., термін служіння 6 місяців;Бронзова направляюча втулка — 1 шт., термін служіння 12 місяців*	*Причиною виходу ущільнень із ладу є ненадійна конструкція запобіжного пристрою для захисту ущільнень від абразивного забруднення. Розробити більш надійний захист ущільнень від забруднення.*	*Півненко*

Рисунок 2.3
Продовження форми агрегатного журналу

Відповідальність за збереження, стан і правильність ведення агрегатних журналів покладається на механіка цеху.

Контроль за веденням агрегатних журналів у виробничих цехах підприємства покладається на помічника начальника цеху з обладнання (або старшого механіка) і на відділ головного механіка (ВГМ). Особи, що здійснюють контроль, повинні вносити свої зауваження і вказівки, які стосуються правильності його ведення, і розписуються із вказівкою дати перевірки.

Записи про знос і інші виявленні дефекти, а також результати оглядів (в тому числі і оглядів за графіком) мають заноситись в агрегатний журнал в день огляду чи ревізії обладнання, а записи про виконання ремонтних робіт — не пізніше доведеного терміну після закінчення ремонту.

Всі сторінки агрегатного журналу мають бути пронумеровані. При включенні в журнал декількох машин чи механізмів для кожного з них відводиться відповідна кількість сторінок, які вказуються у змісті журналу.

Ліва сторона агрегатного журналу призначається для фіксування дефектів, виявлених при оглядах і ревізіях обладнання, права — для записів про виконані роботи з їх усунення.

Записи на лівій і правій сторонах журналу мають бути взаємопоєднанні і відповідати один одному. Записи про роботи з усунення дефектів належить розташувати напроти записів, що характеризують відповідний дефект.

Якщо під час ремонту виявлено і ліквідовано дефект, не виявлений при огляді чи ревізії, то запис про його усунення виконується в графі про виконані роботи. Якщо ж виявлений дефект не може бути ліквідованим незабаром, то запис про нього слід зробити на лівій стороні (в графі 3).

Характеристика дефектів, що фіксуються в агрегатному журналі (графа 3), має бути короткою, проте чіткою і достатньою для міркування про спосіб усунення дефектів (шляхом ремонту деталі на місці чи заміни її новою).

В графі 6 механік цеху чи майстер-механік дають короткий опис виконаних робіт з усунення дефектів, що вказані в лівій частині агрегатного журналу.

Закінчені агрегатні журнали повинні зберігатись в цехових архівах на протязі всього періоду роботи агрегату (машини, механізму).

5. ПЕРЕЛІК ОПЕРАЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

В «Положенні про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» наведено наступний перелік операцій, які мають виконуватись при технічному обслуговуванні (нижче наводиться перелік лише тих операцій, що має виконувати механослужба та підлеглі їй фахівці):

- *статичне та динамічне балансування деталей та вузлів*, що обертаються;
- *відновлення деталей* шляхом напайки зносостійких пластин на елементи устаткування, наплавлення деталей устаткування та технологічного оснащення зносостійкими матеріалами і механічної обробки (поліруванням, притиранням, шабруванням, шліфуванням, відновлення транспортних стрічок, пасів, ланцюгів тощо);
- *виконання операцій технічного обслуговування*, передбачених інструкціями з експлуатації устаткування підприємства-виробника об'єкта експлуатації;
- *демонтаж складових частин устаткування* для відкриття доступу до елемента устаткування, для якого необхідно провести операції ТО, з наступним монтажем;
- *дефектоскопія* неруйнівними методами деталей і зварних стиків;
- *заварювання* тріщин в устаткуванні та технологічних металоконструк-ціях, відновлення дефектних зварних швів;
- *забивання* свищів, прогарів, пробоїн накладання бандажів, хомутів, карбуванням, приварюванням металевих латок, вставок;
- *заміна* арматури запірної, регулювальної, запобіжної без приводів діаметром умовного проходу до 250 мм; швидкозношувальних частин; гідравлічних насосів і розподільників гідравлічних насосів технологічного транспорту і кріпильних деталей, ланцюгів, тросів, канатних та ланцюгових тросів; манжетів, сальників, ущільнень і прокладок на рознімних частинах технологічного устаткування і тру-

бопроводів; мастил і мастильних матеріалів, та матеріалів, що витрачаються; пневматичної арматури гальмових систем технологічного транспорту; привідних пасів, текстропів; зчіпних пристроїв залізничного транспорту цехів; гальмових стрічок, колодок, накладок та інших елементів гальмових пристроїв; транспортерних стрічок, ланцюгів скребкових і пластинчастих конвеєрів та елеваторів; уніфікованих редукторів та електро-двигунів (із залученням електриків), футеровки тощо;

- *вимірювання* технічних параметрів (биття деталей, що обертаються, вібрації устаткування, зазорів у всіляких вузлах устаткування, вільних ходів деталей і вузлів, зміщення тупикових упорів рейок, крутних моментів на вузлах тощо);
- *випробування* гідравлічного і пневматичного устаткування, їх трубопроводів з арматурою та інше;
- *контроль* стану та справності устаткування, затяжки (моменти затяжки) різьбових з'єднань, елементів устаткування, технологічних металоконструкцій, трубопроводів, арматури, їх фундаментів та опор, кріплень рейкових шляхів, наявності та справності елементів систем охорони праці, проектного положення і трубопроводів, покриттів теплоізоляційних і антикорозійних устаткування та трубопроводів, положення робочих і сполучених поверхонь устаткування, температурних режимів роботи устаткування і попередження його перегріву, технічних параметрів, що підлягають перевірці та регулюванню, рівня робочих і технологічних рідин, речовин, реагентів, що призначені для підтримки устаткування у роботоздатному стані, характеристик зносу деталей і вузлів, герметичності сполучень, цілісності (відсутності пошкоджень, відколів, розривів, тріщин) елементів устаткування і технологічних металоконструкцій;
- *заміна змінного устаткування* згідно з переліком, наведеним у додатку Д.1 (в Положенні додаток 2);
- *очищення об'єктів* від технологічних відходів, продуктів зносу, корозії та осадів (бункерів, резервуарів, баків, фільтрів, ємкостей, відстійників, шламонакопичувачів, повітропроводів, пилопроводів, газопроводів, деталей і вузлів від нагару, елементів устаткування, апаратів і пристроїв від бруду, відкладень, осаду, накипу, шляхом продування, промивання, пропарювання, протирання та іншими методами);

- *налагодження, перевірка режимів, ревізія, регулювання устаткування*;
- *технічне діагностування* стану устаткування і вогнетривкої кладки;
- *усунення дрібних дефектів* устаткування.

Методи та технологія відновлення деталей, заварювальних тріщин, забивання свищів, прогарів, пробоїн та усунення інших дефектів детально розглянуто в книзі 3 посібника «Монтаж, експлуатація і ремонт металургійного обладнання», а в інструкціях підприємств-виробітників об'єктів експлуатації щодо виконання операції з їх технічного обслуговування наводяться конкретні дії і пояснення до них. Тому розгляду потребують лише наступні згруповані операції:

- балансування деталей та вузлів;
- вимірювання технічних параметрів;
- технічний контроль і діагностика обладнання;
- змащування обладнання;
- випробування гідравлічного і пневматичного устаткування;
- міжремонтне обслуговування механічного обладнання металургійних агрегатів.

Розділ 3
Балансування обертальних деталей та вузлів

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Тривала і надійна робота цілої низки механізмів (електродвигунів, барабанів, шківів, маховиків, роторів дробарок, ексгаустерів і т. д.) вимагає, щоб вони не мали вібрації під час роботи.

Під вібрацією маються на увазі періодичні відхилення тіла від положення покою чи рухомої рівноваги. Джерелом вібрації тіла є зовнішній імпульс (тобто дія прикладених до тіл сил), який змінюється як за величиною, так і за напрямом і називається силою збурення. Це може бути насамперед відцентрова сила незрівноважених обертальних мас.

Вібрація може виникати не тільки в окремих елементах обладнання, а й в машинах. В цьому випадку відбувається порушення з'єднань, кріплень, деформація конструкцій і ін. А іноді вібрація машини чи агрегату визиває навіть коливання фундаментів і елементів споруд, що в свою чергу порушує нормальні умови роботи іншого обладнання.

Величина (чи інтенсивність) вібрації характеризується і вимірається розмахом коливань. Повний розмах, тобто найбільше переміщення в обидва боки від положення покою, називається амплітудою коливань, а число коливань в секунду — частотою коливань.

Відомо, що при вимушених коливаннях максимальна амплітуда А залежить від відношення частот вимушених f і вільних f_0 коливань. Її величину можна визначити за формулою:

$$A\ max = Acm\ /\ (1 - f^2/f_0^2),$$

де Acm — відношення системи під дією статичних сил.

Із цього виразу виходить, що при рівності частот вимушених і власних коливань Amax прямує до безкінечності. Таке явище отримало назву резонансу. Резонансні коливання в механічних системах зазвичай призводять до руйнування деталей, механізмів, машин і споруд. Тому їм намагаються запобігти, крім тих випадків, де вони можуть бути корисними (вібраційні машини, частотоміри та інше).

Число обертів деталей, що відповідає стану резонансу, називається критичним числом обертів чи критичною швидкістю обертання.

Якщо критичне число обертів вала перебуває вище його нормальних робочих обертів, то вал вважають жорстким, а при критичному числі обертів його називають гнучким.

Явище резонансу і підвищення вібрації при критичному числі обертів може використовуватись при динамічному балансуванні, оскільки це дає можливість визначити при правильному підборі числа обертів незрівноваженності у обертальній деталі.

Причиною виникнення вібрацій можуть бути наступні фактори:

- неточність виготовлення деталей (ексцентричність, овальність форми і т. п.);
- нерівномірність розподілення матеріалу в тілі деталі (газові шпарини і шлакові включення при відливанні деталей, нерівномірність структури і т. п.);
- неправильна посадка деталі на вал (натягування на шпонці);
- зігнутість вала;
- зміщення елементів обертальних валів під час роботи агрегату (зміщення обмотки ротора електродвигуна, кріплень, накладок і т.п.);
- резонанс коливання фундаменту машини, тобто потужна вібрація при певному числі обертів;
- наповзання вала, тобто тремтіння швидкісних машин при наявності великих зазорів в підшипниках, коли масляний клик піднімає вал, але не втримує і останній під дією власної ваги і відцентрової сили падає з періодичними повторами.

Незрівноважена маса при обертанні деталей призводить до появи збурюючої сили, яка намагається порушити стан рухомої рівноваги.

Збурююча сила рівна відцентровій силі незрівноваженої маси і визначається за формулою:

$$P = m \cdot \omega^2 \cdot R,$$

де m — незрівноважена маса;

$\omega = \pi n/30$ — кутова швидкість;

R — радіус прикладення незрівноваженої маси;

n — частота обертання вала.

Для усунення вібрації виконують зрівноваження відповідних деталей і вузлів методом балансування. Під балансуванням розуміється сукупність заходів, направлених на усунення чи зменшення до певної

межі величини незрівноваженості. Але незалежно від можливого наступного балансування необхідно в процесі виготовлення чи під час ремонтів приймати заходи, щоб деталі мали якомога менший небаланс.

На практиці мають справу з двома видами рівноваги обертальних деталей: статичною і динамічною.

Статична рівновага характеризується тим, що при ній деталь, яка розташована вільно на горизонтальних напрямних, залишається в стані спокою при будь-якому своєму положенні.

Динамічна рівновага характеризується тим, що при ній деталь під час свого обертання не піддається вібрації.

Для усунення статичної незрівноваженості здійснюють статичне балансування, а для — динамічної незрівноваженості — динамічне балансування.

Як статичним, так і динамічним балансуванням мають усуватись тільки ті вібрації, які провокуються небалансом деталей, а не будь — якою іншою причиною (наприклад, прогином вала, послаблення дисків на валу, защемленням і т. п.). Тому до того, як приступити до балансування необхідно виявити причини, що викликають вібрації. При цьому важливо знати, які вібрації допустимі, а які недопустимі. В роботі [23] наведено розподіл металургійних машин на групи для оцінювання рівня її незрівноваженості (табл. 3.1.) і оцінка технічного стану машин за значенням середньоквадратичної віброшвидкості (табл. 3.2.)

Таблиця 3.1.

Розподіл металургійних машин на групи

Групи машин	Склад групи
1	2
I	Невеликі машини і механізми: редуктори і інші передатні механізми, що мають постійний кінематичний зв'язок з машиною; електродвигуни потужністю до 15 кВт (зрівняльні клапани, зондові лебідки, клапани повітрянагрівачів, рольганги дрібносортних станів і інше).
II	Середні машини потужністю до 300 кВт на окремих фундаментах, до складу яких входять тільки обертальні

	деталі; електродвигуни потужністю до 1575 кВт, які установлені на загальному фундаменті(скіпові лебідки, приймальні, робочі рольганги обтискних станів тягнучі клітті машин безперервного лиття і т. п.).
III	Крупні машини без поступально рухомих мас, які жорстко установлені на тяжких нерухомих основах (робочі клітті прокатних станів, маніпулятори з кантувачами блюмінгів, слябінгів, стаціонарні міксери і інше).
IV	Крупні машини без поступально рухомих деталей, які пружно установлені на фундаментах і фундаментах полегшеного типу (вентилятори, димососи, вагоноперекидачі, розливальні, стриперні і інші металургійні крани)

Таблиця 3.2.

Оцінка технічного стану машин за значеннями середньоквадратичної віброшвидкості, мм/с

Групи машин	Технічний стан		
	добрий	задовільний	незадовільний
I	0,7	0,7…4,5	>4,5
II	1,1	1,1…7,1	>7,1
III	1,8	1,8…11,2	>11,2
IV	2,8	2,8…18,0	>18,0

2. СТАТИЧНЕ БАЛАНСУВАННЯ

Статичному балансуванню піддають, як правило, деталі, що мають порівняно великий діаметр і незначну довжину (маховики, шківи, ротори ексгаустерів муфти і т. п.). Суть статичного балансування полягає у дослідному визначенні найбільш легкої чи найбільш важкої частини вузла чи деталі з наступним полегшенням тяжкої чи обважненням легкої частини.

Як відомо, у деталі, що має небаланс, центр тяжіння не співпадає з віссю обертання, в зв'язку з чим деталь буде в стані покою у тому випадку, коли центр її тяжіння буде перебувати внизу на одній

вертикалі с центром обертання. Але це буде можливим лише при повній відсутності сил тертя в місцях контакту деталі з опорною площиною. Тому для компенсації сил тертя необхідно дати можливість кантуватись деталі в обидві сторони і знаходити середнє положення. Адже статично незрівноважена деталь, якщо її вивести із положення покою, буде намагатись зайняти його знову.

Для статичного балансування застосовуються способи з використанням опорних призм чи роликів, що мають малий коефіцієнт тертя. В якості роликів доцільно використовувати підшипники кочення.

Для балансування на призмах користуються верстатами, схема одного з яких показана на рис. 3.1. В будь — якому випадку призми по всій довжині повинні мати надійну опору, що має запобігати прогину призм при балансуванні.

Призми, зазвичай, виготовляють із загартованих сталей. Довжина призм L підбирається таким чином, щоб деталь могла вільно робити від 1,5 до 2 повних обертів.

Ширину призми *а* приймають наступних розмірів: для деталей масою менше однієї тонни *а* = 3,0…5,0 мм, для деталей масою більше однієї тонни *а* = 6,0…8,0 мм і для деталей масою 6–8 тон, *а* = 50 мм.

Робочі поверхні призм мають старанно оброблятись — відшліфовані до отримання правильних і рівних поверхонь.

Нижче наведено один із найбільш поширених способів балансування на призмах [23].

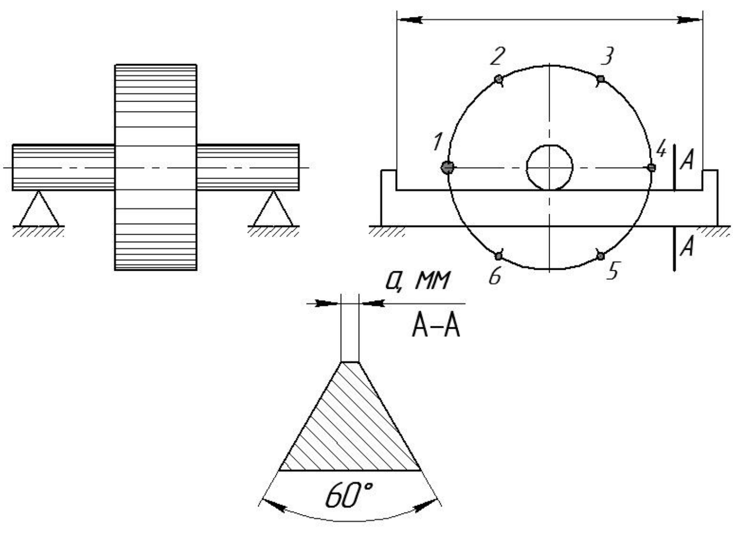


Рисунок 3.1
Схема балансирного пристрою на призмах

Робочі поверхні призм мають старанно оброблятись — відшліфовані до отримання правильних і рівних поверхонь.

Нижче наведено один із найбільш поширених способів балансування на призмах.

Балансування за цим способом поділяється на дві операції. Перша полягає у зрівноваженні деталі до індиферентного (байдужого) стану, тобто до такого стану, при якому деталь, що повернена від осі обертання на будь — який кут, залишиться нерухомою. При цій операції коло деталі поділяють на шість рівних частин (рис.3.2.). Потім установлюють кожні двоє протилежних поділів в горизонтальному положенні і добиваються шляхом підвішування тягарів на місцях нерухомого стану деталі на призмах.

Проте в період першої операції можлива неточність у визначенні небаланса, що є наслідком інерції деталей і наявності тертя, яке виникає між шийками вала і призмами. Визначення цієї неточності і відноситься до другої операції балансування.

Як і при першій операції, при другій двох протилежних поділів (наприклад, перший і четвертий) установлюють горизонтально (рис.3.1). В точці першого поділу підвішують маленькі тягарі до тих пір, поки деталь не розпочне повільно обертатись. Визначення маси тягарів, що виводять деталь із стану покою, здійснюється для всіх шести поділів. Результати заносяться в таблицю (*Q1…Q6*) і на підґрунті цих даних будують діаграму балансування (рис.3.2), крива якої при старанному балансуванні буде мати форму синусоїди.

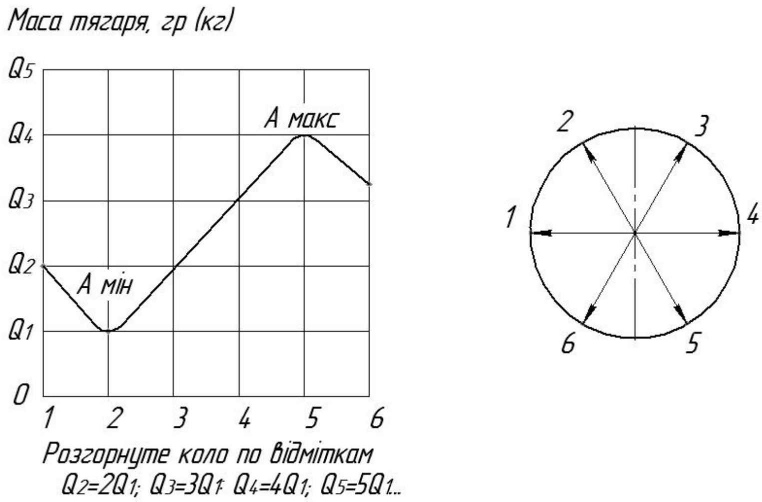


Рисунок 3.2
Діаграма другої операції балансування

Найнижче положення точки кривої діаграми відповідає найбільш важкому місцю балансованої деталі і для його зрівноваження необхідно в діаметрально протилежному напрямі (що відповідає найвищому положенню точки кривої) прикріпити зрівноважуючий тягар, масу якого можна визначити за формулою [23]:

$$Q = Амакс. – Амін. / 2,$$

де *Амакс.* , *Амін.* — відповідно ординати максимального і мінімального значення кривої на рис. 3.2.

Для зменшення шкідливого впливу сил тертя статичне балансування здійснюють на обертальних опорах (наприклад, на підшипниках кочення). При цьому задача зводиться (початкова операція) до знаходження «тяжкої» і «легкої» частин деталі для того, щоб за рахунок облегшення тяжкої частини чи утяжіління легкої отримати необхідний рівень зрівноваження. З цією метою деталь 3 (рис.3.3,а), яка зібрана на валу чи на спеціальній оправці 2, установлюють на балансировочний верстат для визначення області зрівноваження [23]. Цю область поділяють навпіл і за допомогою виска 1 відмічають вертикальний діаметр. Легку «Л» і тяжку «Т» частини маркують крейдою.

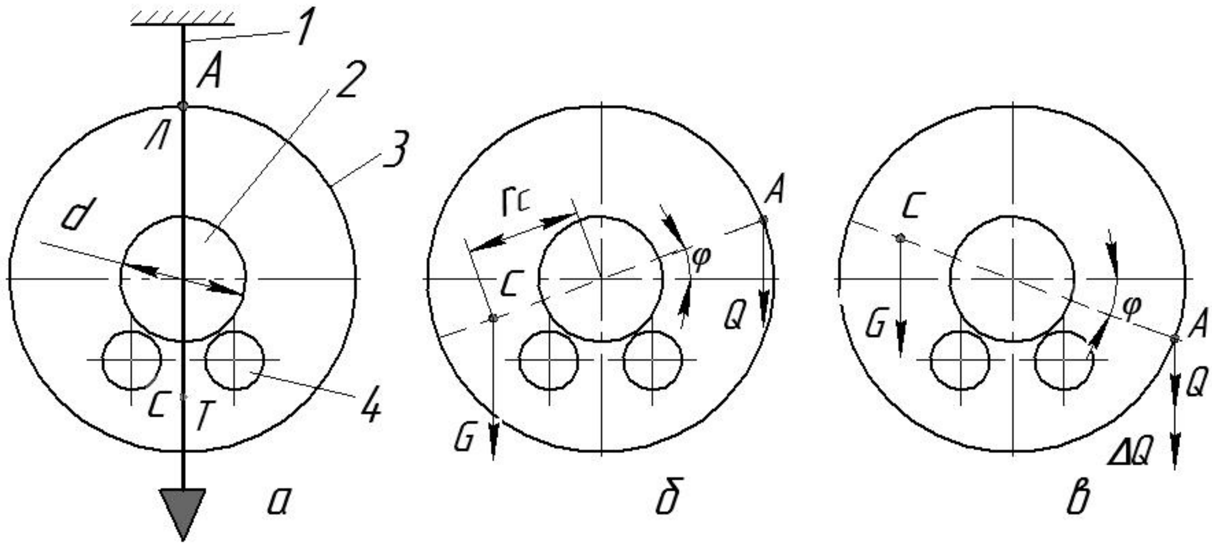


Рисунок 3.3
Схема статистичного балансування на обертальних опорах

Наступним кроком є поворот деталі на кут 90° і в точці А закріплення тягаря *Q* (рис.3.3,б). Дослідним шляхом тягар підбирають таким чином, щоб деталь була декілька незрівноваженою, тобто щоб вона повернулась тяжкою частиною вниз на кут φ = 10…15°.

Такий стан деталі можна описати рівнянням[23]:

$$G \cdot r_c \cdot \cos\varphi = Q \cdot D/2 \ \cos\varphi + (G+Q) \cdot \mu d/2,$$

де G — сила тяжіння деталі;

rc — відстань від центру тяжіння до геометричної осі обертання;

D — діаметр деталі, на якому закріпляється тягар Q;

μ — коефіцієнт опору в підшипниках опор;

d — діаметр вала чи оправки.

Потім підбирають додатковий тягар ΔQ таким чином, щоб деталь стала декілька перезрівноваженою (рис. 3.3, в), тобто щоб вона повернулась тяжкою частиною вгору на такий же кут. Цей стан деталі можна описати рівнянням:

$$(Q + \Delta Q)\, D/2 \ \cos\varphi = G \cdot r_c \ \cos\varphi + (G+Q+\Delta Q)\mu d/2.$$

З урахуванням того, що $G+Q >> \Delta Q$, результатом рішення обох рівнянь стане вираз:

$$G \cdot r_c = (Q + \Delta Q/2)\, D/2 .$$

Ліва частина цього рівняння являє собою момент, що створюється незрівноваженою силою при $\varphi = 0$, а права містить компенсаційний тягар, який необхідно закріпити на деталі, що підлягає балансуванню, на відстані 0,5 D від осі обертання. Методом пропорції можна установити масу тягаря у випадку необхідності закріплення на іншій відстані від центру обертання.

В окремих випадках балансування за цим способом можна здійснювати без розбирання вузлів, тобто на місці робочого розташування деталі. Для цього деталь роз’єднується з приводною частиною, а її підшипникові опори прослабляються.

В будь-яких випадках тягар зрівноваження повинен надійно закріплятись на деталі. При невеликій масі тягарів (маса < 100 г) на легкій частині деталі засвердлюються отвори і заливаються свинцем. При масі тягарів більше 100 г рекомендується їх виготовляти у вигляді накладок. Допускається використо-вувати при необхідності декілька окремих тягарів але при умові, що вектор рівнодіючої сили залишається без зміни.

Балансування на обертальних опорах можливе і для деталей з різними діаметрами кінців вала, що також є перевагою перед балансуванням на призмах, на яких не можна це робити.

3. ДИНАМІЧНЕ БАЛАНСУВАННЯ

Існують декілька способів динамічного балансування. При виборі способу балансування необхідно мати на увазі наступне:

Динамічне балансування, головним чином, здійснюється двома методами: при пониженому числі обертів (150–200 хв$^{-1}$), що відповідає необхідній критичній швидкості обертання і при робочому числі обертів.

Динамічне балансування при пониженому числі обертів є достатньо точним, проте має той недолік, що при цьому знищується тільки жорстко закріплений небаланс, тобто небаланс, положення якого не залежить від величини швидкості обертання. Балансуванням при робочому числі обертів знищується, як жорстко закріплений небаланс, так і той, що виникає від зміщення окремих елементів деталі під впливом відцентрових сил (це має місце, наприклад, при балансуванні турбогенераторів, коли перехід від понижених обертів до робочих може призвести до зміщення обмоток).

Балансування тіл обертання (роторів, маховиків, лопатевих коліс і т. п.) здійснюється, як правило, на спеціальних балансувальних верстатах. Схема одного з них показана на рис.3.4. Деталь 1, що підлягає балансуванню, установлюється на своїх підшипниках в жорсткій рамі 3, яка за допомогою шарніра 6 з'єднана з нерухомою основою 5. Вісь шарніра 6 розташована горизонтально і повинна бути перпендикулярною осі деталі. Рама 3 підтримується пружиною 4, тому деталь разом з рамою утворюють пружну систему, яка може коливатись відносно осі шарніра 6. Величину амплітуди коливань вимірюють приладом 2 (індикатор, датчик переміщення, віброметр і т.п.).

Найбільш поширеним способом динамічного балансування є спосіб *обходу пробним тягарем* по колу, тобто тягар кріпиться до деталі послідовно в декількох точках (шести чи восьми) на одній і тій відстані від осі обертання.

Балансування спочатку здійснюється для тієї сторони, деталі, де виявлена найбільша амплітуда вібрації (наприклад, сторона С, рис. 3.4, а). Для цього деталь установлюється таким чином, щоб ця сторона розташовувалась над пружною опорою.

При балансуванні на крайніх (рахуючи по діаметру деталі) точках деталі, розташованих поблизу підшипника, сторони, що підляга-

ють балансуванню, знаходять шляхом проб таке положення і величину тягаря зрівноваження, при яких коливання рухомої рами зникнуть.

Деталь поділяється на 6–8 ділянок і послідовно визначаються амплітуди на рамі 3 поблизу підшипника від пробного тягаря, який переміщують по одному і тому ж радіусу в позначених точках.

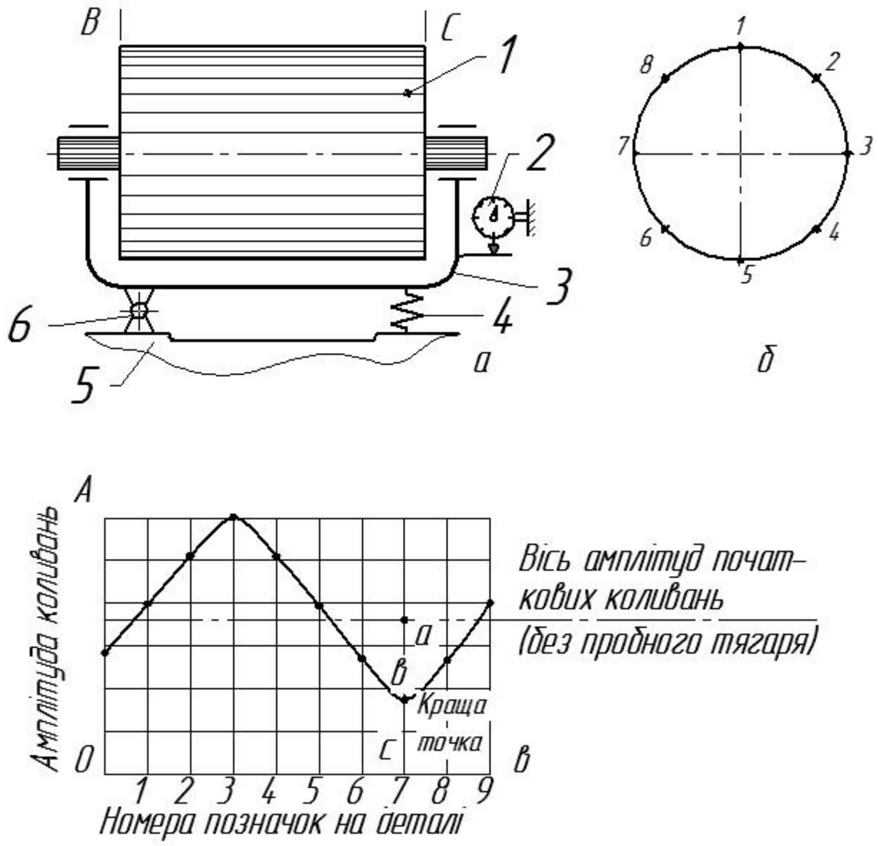


Рисунок 3.4

Схема балансувального верстату (а), позначки точок балансування (б) та діаграма коливань (в)

Масу пробного тягаря можна визначити за формулою [23]:

$$m_n = k_c \cdot G / r \cdot \omega^2,$$

де kc — 0,02…0,3 — коефіцієнт обмеження відцентрової сили від пробного тягаря;

G — сила тяжіння деталі, що підлягає балансуванню;

r — радіус, на якому закріплено пробний тягар;

ω — кутова швидкість обертання деталі.

Відлік амплітуд здійснюється при певному, прийнятому за основне числі обертів. За даними про величини амплітуд коливань,

отриманими при обертанні деталі (без пробного і з пробним тягарем), будують криву балансування (рис.3.4,в), за якою визначають положення і величину зрівноважуючого тягаря.

На осі абсцис наносяться положення відміток (номера позначок) на деталі, а на осі ординат — величини амплітуд коливань. По кривій видно, що мінімальна амплітуда відповідає точці 7 , яка вказує правильне положення зрівноважуючого тягаря для усунення небалансу сторони С деталі. З находженням положення зрівноважуваного тягаря і виходячи з необхідності зниження амплітуди коливань до нуля, величину зрівноважуючого тягаря Gc визначають за формулою [23]:

$$G_c = m_n \cdot \frac{ac}{ab},$$

де *ac, ab* — відповідні значення відрізків на графіку.

При невеликих поздовжніх розмірах і симетричності деталей (наприклад, деталі циліндричної форми) балансування на цьому може і закінчитись. А у протилежних випадках виникає необхідність у балансуванні протилежної сторони. Для цього голівку сторони С стопорять, а голівку сторони В вивільняють і визначають величину і розташування зрівноважуваного тягаря *GB* сторони деталі В. Після закріплення у відповідній точці на деталі тягаря *GB* (рис.3.5) небаланс зі сторони В буде усунуто і деталь при закріпленій стороні В буде перебувати в рівновазі. Проте, як тільки сторона В буде вивільнена, рівновага порушиться і на стороні С знову з'явиться небаланс.

Для того, щоб балансування не порушувалось, діють наступним чином. Тягар *Gc* залишається на місці закріплення. Тягар *Gв* замінюють двома тягарями: один *GB1* перебуває в тому ж положенні, а інший *GB2* — на стороні деталі в діаметрально протилежній точці по відношенню до тягаря *GC* (рис.3.5). Величини цих тягарів визначають за формулами

$$G_{B1} = G_B \cdot \frac{m \cdot n}{m \cdot n - a \cdot b};$$

$$G_{B2} = G_B \cdot \frac{r}{c} \cdot \frac{a \cdot m}{m \cdot n - a \cdot b}.$$

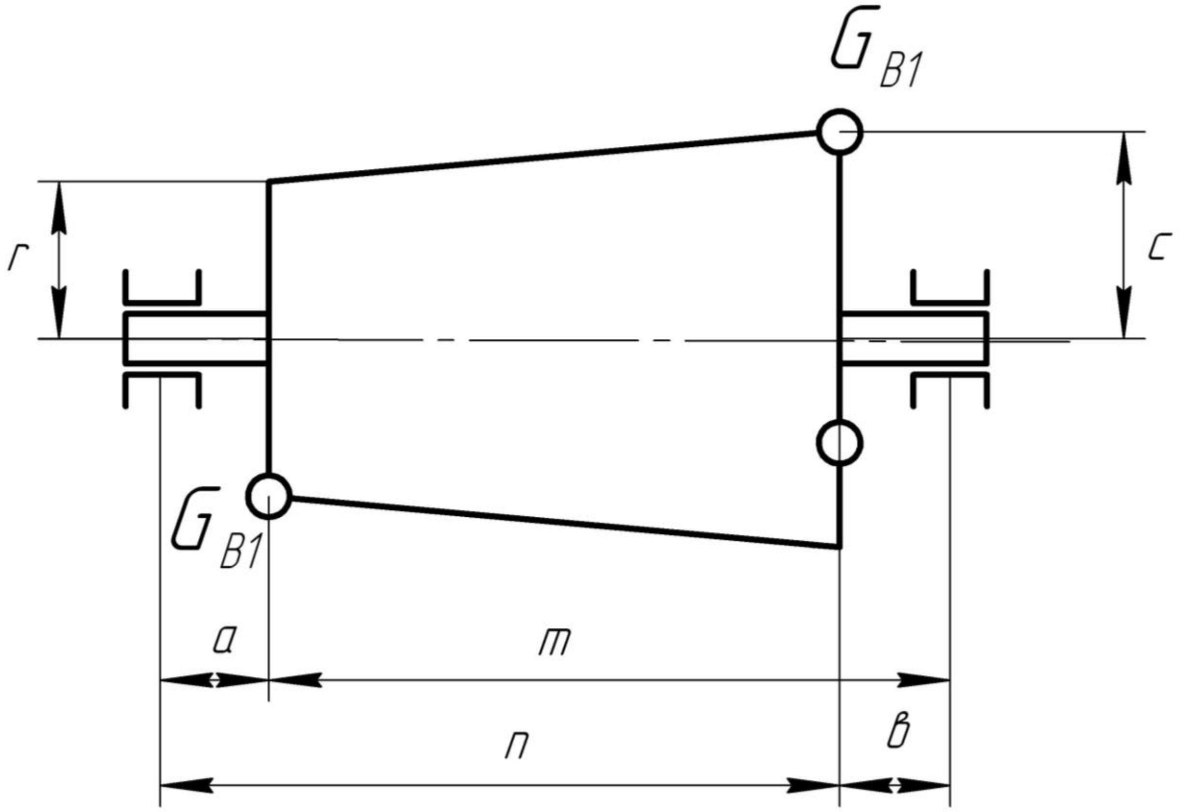


Рисунок 3.5
Схема до знаходження перехідного тягаря

Іншим поширеним способом динамічного балансування є спосіб максимальних позначок. При цьому методі циліндричну частину деталі (наприклад, маточину) фарбують крейдою (а ще краще білою фарбою). Вибрана для фарбування ділянка вала має бути точно оброблена, а фарбування здійснюється по всьому колу вала на довжині 20–50 мм.

Деталь установлюють, як і при першому способі, на балансувальний верстат таким чином, щоб на пружній опорі перебувала та площина деталі, що підлягає зрівноваженню. Після цього деталі розгінним пристроєм надають робочу швидкість. При вільному зниженні швидкості в районі інтенсивного коливання вимірюють амплітуду коливань пружної опори верстату і одночасно роблять позначку на зафарбованій поверхні деталі за допомогою загостреного предмету (розмітника, рейсмуса і інше). Биття деталі при цьому буде відмічатись на поверхні деталі у вигляді дуги, що вказуватиме напрямок вібрації та прогин вала деталі. Рекомендується наносити по 10–15 рисок на деякій відстані одна від іншої, оскільки довжина окремих рисок

може бути випадковою. При нанесенні рисок належить обережно підводити різальний інструмент рукою до деталі, а руку слід старанно ізолювати від вібрації, що передається через кожен підшипник і т. п.

Відомо, що збиткова вага «тяжкої» ділянки деталі буде відхиляти її від осі обертання. При цьому найбільше відхилення буде відбуватись позад дії сили. Іншими словами, якщо дивитись за напрямом обертання, позначка буде перебувати завжди позад збиткової ваги. Це явище пояснюється інерцією рухомих частин (адже відцентрова сила не може миттєво понести за собою деталь, і поки вона торкнеться розмітника, тобто дійде до повного відхилення, точка, що відповідає збитковій вазі, вже повернеться на деякий кут). Цей кут залежить від числа обертів (при невеликій швидкості обертання він складатиме лише декілька градусів), тобто позначка відстане від збиткової ваги тільки на декілька градусів. В той же час при збільшенні швидкості обертання кут відставання збільшується і може досягати 180°. Таким чином, це явище належить враховувати.

Довжина позначки дає характеристику відносної величини потрібного для зрівноваження тягаря. Чим коротша по довжині кола позначка, тим більша незрівноваженість і, отже, вібрація. А при відсутності небалансу розмітчик нанесе риску по всьому колу. Сама позначка лише наближено вказує місце положення тягаря зрівноваження, а її довжина надає підґрунтя лише для судження про величину тягаря.

Як і в першому способі, балансування здійснюється в дві стадії: спочатку визначається пробний тягар, а потім компенсаційний.

Спосіб максимальних позначок на відмінну від способу обходу пробним тягарем дозволяє одночасно визначати значення і напрямок незрівноважених сил, що суттєво скорочує витрати часу на балансування деталей.

В роботі [23] досить детально розглянуто і третій спосіб балансування обертальних деталей без розбирання машин. Адже попередні способи балансування реалізуються на спеціальних балансувальних верстатах і вимагають значних витрат праці на розбирання і наступне складання машин. Тому доцільно скористатись наведеним в цій роботі матеріалом. Особливо цей спосіб є ефективним при балансуванні високошвидкісних крупногабаритних деталей.

4. СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

При балансуванні можливе використання обладнання як власного виробництва підприємства, так і покупного. З виготовлення власного обладнання наведено рекомендації в роботі [16], за якими не складно виготовити прості, але достатньо надійні верстати. Проте при необхідності високоточного балансування при мінімально досяжному остаточному дисбалансі не більше 20 г·мм/кг (1 г·мм/кг = 1 мкм = 0,001 мм) слід використовувати покупне обладнання.

Серед різноманітних конструкцій (вітчизняних і зарубіжних), що виготовляються спеціалізованими підприємствами, широким попитом користуються верстати серій БС-24, БС-34, БС-44, що виготовляються компанією «Росбал», а також верстати серій ВМ-010С…ВМ-10000 і серій ВТ-150 … ВТ-3000, що виготовляються «ДИАМЕХ 2000» (Росія).

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ БС-24



Рисунок 3.6
Балансувальний верстат БС-24-16

Модельний ряд балансувальних верстатів БС-24 містить в собі балансувальні машини БС-24-8, БС-24-16. Ця серія являє собою верстати для динамічного балансування різноманітних тіл обертання, як міжопорних, так і консольних. А при використанні спеціальних оправок можна балансувати і диски. Зовнішній вигляд балансувального верстата БС-24-16 показано на рис.3.6.

Балансувальні верстати є універсальними, що дає можливість використовувати їх як в серійному, так і одиночному вироб-

ництві. Кожний з цих верстатів оснащується системою привода ременя «Top Drive», що дозволяє легко установлювати, здійснювати балансувальний пуск і швидко знімати деталь, що підлягає балансуванню, з опор верстата.

Для високоякісного балансування верстати комплектуються зносостійкими приводними ременями, які гасять паразитні коливання, що поряд з масивною і надійною конструкцією балансувальної системи дає можливість оператору виконувати якісне балансування деталей в широкому діапазоні мас і швидкостей.

Верстати комплектуються блоком вимірів і управління «Грас-2Л». Остаточна обробка сигналів і отримання результатів вимірів дисбалансу здійснюється або за допомогою стійки вимірювання і управління «DAS-080» з комп'ютером в корпусі, або вимірювальним блоком «Грас-2.1» в комплекті з персональним комп'ютером типу ноутбук.

Для швидкого визначення місця коригування дисбалансу верстат комплектується системою автоматичного повороту деталі, яка променем лазера точно вказує місця добавлення чи відділення коригуючих мас.

Технічні характеристики верстатів серії БС-24 представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Параметри	Моделі верстатів	
	БС-24-8	БС-24-16
1	2	3
Максимальна маса деталі, кг	8,0	16,0
Мінімальна маса деталі, кг	0,150	0,3
Максимальне навантаження на одну опору, кг	5,0	9,0
Діаметр деталей (min-max),мм	20–400	25–500
Діаметр деталі під ременем (min–max), мм	20–100	20–130
Відстань між серединами опорних шийок деталей (min–max), мм*	40–500*	40–500*
Діаметр опорних шийок деталі (min–max), мм	6–16	8–30

Закінчення таблиці 3.3

Максимально досяжний залишковий дисбаланс, г. мм/кг	0,1	0,11
Частота обертання при балансуванні, хв.	600–4000	600–4000
Тип привода	Ремінний, асинхронний, з регулювання частоти	
Система натягування	«Top Drive»	
Потужність привода, КВт	0,18	0,25
Тип опор	Призми, радіусні вкладиші	
Тривалість балансування деталей, хв.*	1–15	1–15
Габарити верстата, мм	640*550*535	640*600*535
Маса механічної частини верстата, кг	65	80
Напруга живлення, В	220/380	220/380
Примітки:* Параметр може бути збільшеним до 2500 мм ** З урахуванням процедури зняття (установлення деталей, а також добавлення / віддалення матеріалу).		

Всі верстати серії БС-24 не вимагають спеціальних підвалин і можуть установлюватись на звичайних цехових верстатах чи столах з вивіренням ватерпасом і таких, що мають масу не менше 30–40% від маси верстатів БС-24.

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ БС-34

Модельний ряд верстатів БС-34 містить в собі моделі БС-34-50 і БС-34-100. Ці верстати належать до верстатів зарезонансного типу. Висока точність коливальної системи верстата дозволяє досягти точності балансування аж до 1-го класу.

В залежності від призначення верстати поставляються з широким спектром опорних деталей і вузлів, що дозволяє проводити якісне динамічне балансування таких деталей як:

- якорі електродвигунів;
- ротори центрифуг;
- карданні вали;
- колінчасті вали;
- ротори турбокомпресорів;

▪ інших тіл обертання.

Застосування у верстатах самобалансних роликових опор дозволяє здійснювати балансування різноманітних деталей на підшипникових шийках без точного установлення деталей за допомогою приладів виміру рівня.

Зовнішній вигляд верстата БС-34-100 показано на рис. 3.7.



Рисунок 3.7
Балансувальний верстат БС-34-100

Зручна заміна опор і легке переміщення на верстаті стояків і системи натягування приводного ременя дозволяють швидко переналаштовувати систему верстата під різні задачі, що поєднані з високоякісним балансуванням.

Конструкція вузла натягування ременя дає можливість розташовувати систему натягування між опорами, як на більшості аналогічних верстатів для балансування, і поза ними зліва чи справа, що буває необхідним при балансуванні деяких типів деталей, наприклад, карданних валів.

Верстати БС-34 оснащено сучасною комп’ютерною вимірювальною системою, що дозволяє обходитись без еталонних роторів (деталей) і здійснювати динамічне балансування деталі, навіть із значним початковим дисбалансом, за 1–3 пуски.

Всі верстати серії БС-34 постачаються з якісною основою, що дозволяє установлювати їх на звичайну бетонну долівку.

Для середнього і крупносерійного виробництва верстати можуть постачатись разом із свердлильним верстатом, що дозволяє коригувати дисбаланс без зняття деталі з верстата балансування.

Передбачаються і різні варіанти вимірювальної системи:-

- Блок вимірювання і управління «Грас-2.1» з персональним комп'ютером;
- Стояк вимірювання і управління «DAS-080» із вмонтованим промисловим комп'ютером і монітором.

Для швидкого визначення місця коригування дисбалансу верстат комплектується системою автоматичного повороту деталі, яка променем лазера точно вказує оператору місця додавання чи віддалення коригуючих мас.

Технічні характеристики верстатів БС-34-50 і БС-34-100 наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Параметри	Моделі верстатів	
	БС-34-50	БС-34-100
Максимальна маса деталі, кг	50,0	100,0
Мінімальна маса деталі, кг	1,0	4,0
Максимальне навантаження на одну опору, кг	30	60
Діаметр деталей (min-max), мм	25–800	
Діаметр деталі під ременем (min-max),мм	20–300	
Відстань між серединами опорних шийок деталі (min-max), мм*	80–950*	
Діаметр опорних шийок деталі (min-max), мм	12–150	
Максимально досяжний залишковий дисбаланс, г·мм/кг	0,12	0,14
Частота обертання при балансуванні, $хв^{-1}$	400–2500	
Тип привода	Ремінний, асинхронний з регулюванням частоти	

Закінчення таблиці 3.4

Тип опор	Роликові із само-установленням, v-подібні і інші	
Потужність привода, кВт	0,75	1,1
Тривалість балансування деталей, хв.**	1–15**	1–30**
Габарити верстата, мм	1700×1200×800	
Маса механічної частини, V	140	170
Напруга живлення, В	220/380	
Примітки:*Параметр може бути збільшеним до 2500 мм; ** з урахуванням процедури зняття і установлення деталей.		

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ БС-44

Верстати зарезонансного типу серії БС-44 призначаються для високоякісного динамічного балансування різноманітних деталей обертання:

- роторів електродвигунів;
- вали машин і механізмів;
- колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння;
- барабани центрифуг;
- турбокомпресори;
- робочі колеса вентиляторів, насосів і інші;
- шнеки і черв’яки.

Верстати являють собою модульну конструкцію (рис 3,7), що робить їх простими і зручними в обслуговуванні. Виготовляються за двома моделями БС-44-300, БС-44-500 і БС-44-1000, БС-44-3000.



Рисунок 3.7
Балансувальний верстат БС-44-500

Як і інші верстати серії БС ці верстати також комплектуються системою комп'ютерного визначення місць дисбалансу та місць добавлення чи віддалення коригуючих мас. Стояки вимірів і управління «DAS-080» і програмне забезпечення «Росбал — Soft V2.7» дозволяють надійно автоматизувати процес балансування, при якому досягаються поля допусків за 2–3 пуска, причому допуск балансування розраховується автоматично за введеними операторами геометричними параметрами.

Технічні характеристики верстатів серії БС-44 наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Параметри	Моделі верстатів серії БС			
	БС-44-300	БС-44-500	БС-44-1000	БС-44-3000
Максимальна маса деталі, кг	300	500	1000	3000
Мінімальна маса деталі, кг	10	10	15	20
Максимальне навантаження на одну опору, кг	200	300	600	1800
Діаметр деталей (min-max), мм	1000	1200	1500	1900
Діаметр деталі під ременем (min-max),мм	800	1000	1250	1600
Відстань між серединами опорних шийок деталі (min-max), мм	150–1800	150–1800	200–2200	300–3000
Діаметр опорних шийок деталей (min-max), мм	20–150	20–180	25–200	25–250
Мінімально досяжний залишковий дисбаланс, г·мм/кг*	0,11*	0,11*	0,12*	0,15*
Частота обертання деталей при балансуванні, хв$^{-1}$	300–2000		300–1500	300–1500
Тип привода	Безкінечний ремінь чи комбінований (ремінний + карданний)			
Система натягування	4 шківа			

Закінчення таблиці 3.5

Тип опор	Призми/ролики			
Потужність привода, кВт	1,5	1,5	2,2	5
Тривалість балансування деталі **, хв.	10–60	10–60	20–60	20–120
Габарити верстата, м	2×1,2×1,2	2×1,2×1,2	2,5×1,4×1,4	3,2×1,6×1,4
Маса механічної частини, кг	300	500	1000	3000
Напруга живлення, В	220/380			
Примітки:* Величина мінімально досяжного залишкового дисбаланса залежить від якості опорних шийок деталі підшипників кочення при балансуванні на призматичних опорах і інших факторів. ** Загальна тривалість балансування складається з часу на установлення / зняття деталі, натягнення паска, введення необхідних даних в комп'ютер, розгон — вимірювання-гальмування при кількості балансувальних пусків не більше 10-ти і правильного установлення / зняття балансувальних тягарів.				

Кожна модель верстатів серії БС-44 виконується в трьох комплектаціях:

Комплектація 1

1. Механічна частина верстата з V — подібними опорами (призмами) і ремінним приводом.

2. Стояк вимірювання і управління з персональним комп'ютером типу «Notbook».

3. Лазерний відмітник обертів.

Позитивні якості комплектації — найнижча вартість в класі.

Недоліки — неможливість балансування деталей на опорних шийках.

Комплектація 2

1. Механічна частина верстата із взаємозамінними V- подібними опорами (призмами) і саморегулювальними роликовими опорами і ремінним приводом.

2. Стояк вимірювання і управління з комп'ютером в корпусі промислового виконання.

3. Лазерний відмітник обертів.

Позитивні якості комплектації — збалансованість комплектації для виконання широкого кола задач в області динамічного балансування деталей, прийнятна вартість.

Недоліки — неможливе балансування деталей, що не мають поверхонь, придатних для приведення ременем.

Комплектація 3

1. Механічна частина верстата із взаємозамінними V — подібними опорами (призмами) і саморегулювальними роликовими опорами і комбінованим (ремінним і карданним) приводом.
2. Стояк вимірювання і управління з панельним комп'ютером промислового типу з класом захисту до IP54.
3. Лазерний відмітник обертів з покращеними характеристиками.

Позитивні якості комплектації — можливість вирішення практично будь-якої задачі в області високоякісного балансування деталей обертальної дії.

Загальним позитивом верстатів «Росбал» є те, що за їх допомогою можна визначити ексцентриситет мас з точністю 0,05–0,5 мкм (0,00005–0,0005 мм).

ВЕРСТАТИ СЕРІЇ ВМ І ВТ (ДИАМЕХ 2000)

Ці верстати поділяються на дві групи: зарезонансні (ВМ) і дорезонансні (ВТ). Зарезонансні верстати призначаються для балансування зверхлегких роторів (ВМ-010-С на масу роторів 0,005–3 кг і ВМ-010 на масу роторів 0,03–8 кг), малої вантажопідіймальностіі (ВМ-050 на масу роторів 0,5–50 кг і ВМ-300 на масу роторів 3–300 кг), середньої вантажопідіймальності (ВМ-1000 на масу роторів 10–10000 кг, ВМ — 3000 на масу роторів 30–3000 кг, ВМ-5000 на масу роторів 50–5000 кг), великої вантажопідіймальності (ВМ — 8000 на масу роторів 80–8000 кг, ВМ-10000 на масу роторів 100–10000 кг, ВМ-20000 на масу роторів 1000–20000 кг). Поряд з цим виготовляються також верстати для балансування роторів енергетичних турбоагрегатів великої потужності на масу роторів до 90000 кг.

Таким чином, верстати забезпечують балансування деталей роторного типу від декількох грамів до 90 т.

До особливостей верстатів серії ВМ можна віднести наступне:

- швидке і легке переналагодження під різні типи роторів без додаткових пусків (в програму вимірювально — управляльного модуля достатньо ввести лише геометричні параметри ротора);
- балансування будь-яких типів роторів (у власних підшипниках, з вузькими опорними шийками, карданних і колінчастих валів), на спеціальних оправках дисків і колес;
- карданний привод для роторів з великим аеродинамічним опором і роторів складної конфігурації;
- можливість дооснащування верстата свердлильним, фрезерним чи зварювальним модулем коригування дисбалансу;
- постійні (на довгий термін) калібрувальні коефіцієнти;
- автоматизований розрахунок даних балансувань з використанням сучасного мікропроцесного вимірювально — управляльного модуля «САПФИР» з програмним забезпеченням для дорезонансних балансувальних верстатів;
- автоматизований доповерт на необхідний кут;
- додаткові захисні кожухи і огорожі за стандартом IS7475.

Кожний з верстатів складається із основи, 2-х опорних стояків, 2-х укладальників, 2-х осьових упорів, привода обертання і блока управління.

Особлива увага приділена укладці роторів на верстат, оскільки це є відповідальна операція і вимагає акуратності і підвищеної уваги, оскільки тяжкі ротори при необережній укладці можуть пошкодити опори верстатів. Тому при вантажопідіймальності 300 кг і вище верстати комплектуються спеціальними підйомниками-укладальниками, які забезпечують м’ягке укладання. При цьому ротор підводять краном і установлюють на укладальники, які потім синхронно м’яко опускають ротор на балансувальні опори.

Найскладніший вузол верстата — роликовий блок (опори). Він складається із млинка («вертушки»), качалки і змінних циліндричних опорних роликів, які крім обертання навколо власної осі мають ще можливість обертатись навколо вертикальної і горизонтальної осі, що перпендикулярні осям обертання роликів. Це забезпечує постійний контакт між поверхнями роликів і шийками ротора, що дозволяє практично усунути накочування шийок ротора. А можливість обер-

тання навколо вертикальної осі дозволяє запобігати закусюванню і пружкового контакту шийок ротора в процесі балансування.

Привод верстатів забезпечує передання обертального руху від електродвигуна до балансувального ротора за допомогою плоского ременю через систему крутенів (шківів), гальмування ротора після закінчення остаточного вимірювання дисбалансу.

Виготовляються модифікації верстатів з карданним валом чи комбінацією кардан + ремінь.

Особливістю верстатів є хитна опора, що працює за принципом маятника. Власна частота коливання маятника не залежить від його маси. Придатно до верстату це означає, що коливання балансувального ротора фактично відокремлені від паразитних зовнішніх коливань. Це ж дозволяє позбавитись від установлення масивних фундаментів.

Хоча у всіх верстатах прийнята однакова принципова схема, вони мають і певні конструктивні особливості. Наприклад, у верстатах на масу ротора 300 кг і менше стояки рухаються по циліндричним напрямним (рис.3.8), а у верстатів на масу ротора 1000 кг і вище стояки рухаються по призматичним напрямним (рис.3.9, 3.10). І як відмічалось вище, верстати на масу ротора 300 кг і вище оснащені підйомниками — укладальниками, які добре видно на рис. 3.9 (на кожному стояку 2 штуки).

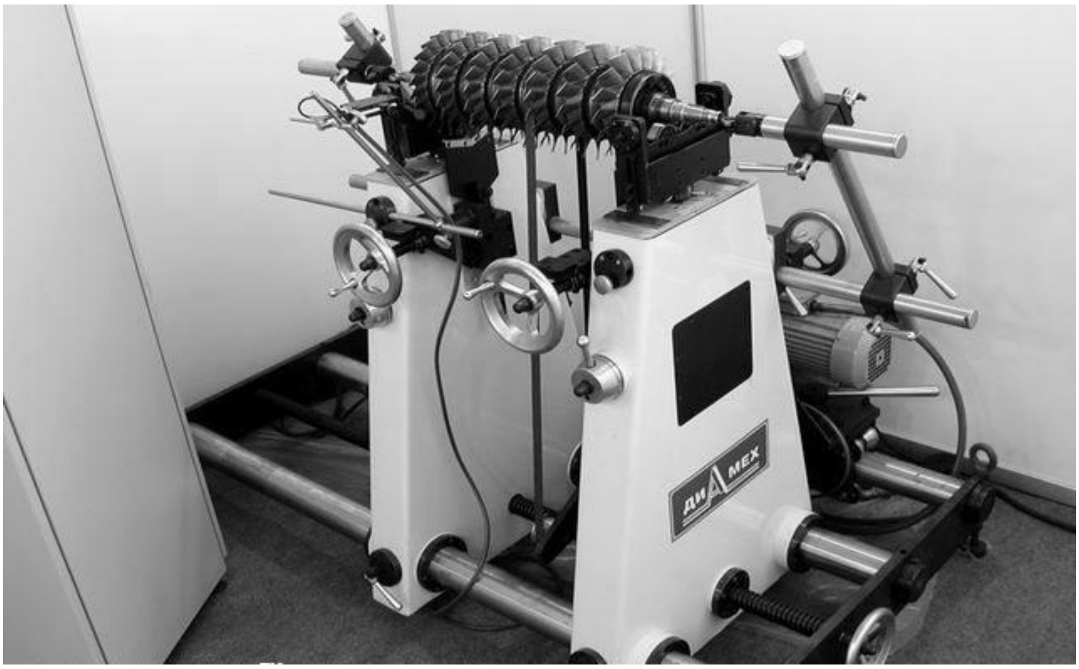


Рисунок 3.8
Балансувальний верстат ВМ-300

Дорезонансні верстати серії ВТ виготовляються з жорсткими опорами для роторів масою до 3т. Вони поділяються на верстати малої вантажо-підіймальності ВТ-150, ВТ-300, ВТ-500 і середньої вантажопідіймальності ВТ-1000, ВТ-2000, ВТ-3000 (цифра означає вантажопідіймальність в кг). Технічні характеристики верстатів серії ВТ подано в таблиці 3.6.

Дані, що наведені в таблиці, відносяться до стандартного виконання верстатів. В той же час підприємство за спеціальним замовленням може



Рисунок 3.9
Балансувальний верстат ВМ-1000

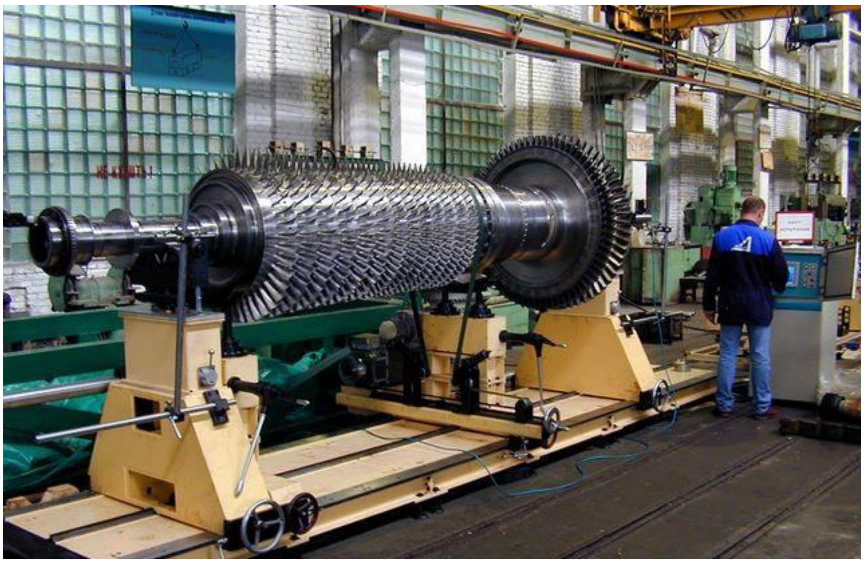


Рисунок 3.10
Балансувальний верстат ВМ-8000

поставляти верстати з комбінованим приводом (ремінний + карданний), подовженою основою, збільшеною потужністю електропривода, оснащенням верстатів свердлильним, фрезерним чи зварювальним модулями коригування дисбалансу, захисними огорожами.

Таблиця 3.6

Технічні характеристики верстатів серії ВТ

Параметри	Моделі верстатів серії ВТ					
	ВТ-150	ВТ-300	ВТ-500	ВТ-1000	ВТ-2000	ВТ-3000
1	2	3	4	5	6	7
Максимальна маса ротора, кг	150	300	500	1000	2000	3000
Максимальний діаметр ротора, мм	1050	1130	1550	1600	1600	1600
Відстань між опорами, мм	150–2200	200–2400	200–3200	200–3100	200–3100	300–3100
Діаметр опорних шийок ротора, мм	10–180	10–180	10–180	15–290	15–290	15–290
Чутливість, г·мм / кг	до 0,1					
Коефіцієнт зменшення дисбалансу	до 95%					
Тип електропривода	Змінного струму з регульованою частотою					
Потужність електропривода, кВт	1,1	2,2	4	7,5	11	15
Відмітник обертів	Лазерний					
Датчик положення ротора	В комплекті					
Доверт ротора на необхідний кут	Автоматичний, ручний					
Приладове оснащення Модуль «САПФИР» на базі промислового комп’ютера із сенсорним дісплеєм						

Зовнішній вигляд верстата ВТ-1000, як найбільш типового для верстатів дорезонансної дії, показано на рис. 3.11.

Поряд з горизонтальними верстатами серій ВМ і ВТ компанія «ДИАМЕХ» виготовляє і вертикальні верстати серії В, технічні характеристики яких подано в табл.3.7. Вони призначаються для високоточного зрівноваження деталей у вигляді дисків, коліс, які не мають власних шийок, а також різального інструменту металообробних верстатів. Можуть комплектуватись свердлильними і фрезерними пристроями для коригування дисбалансу з контролем величини зняття маси на моніторі.

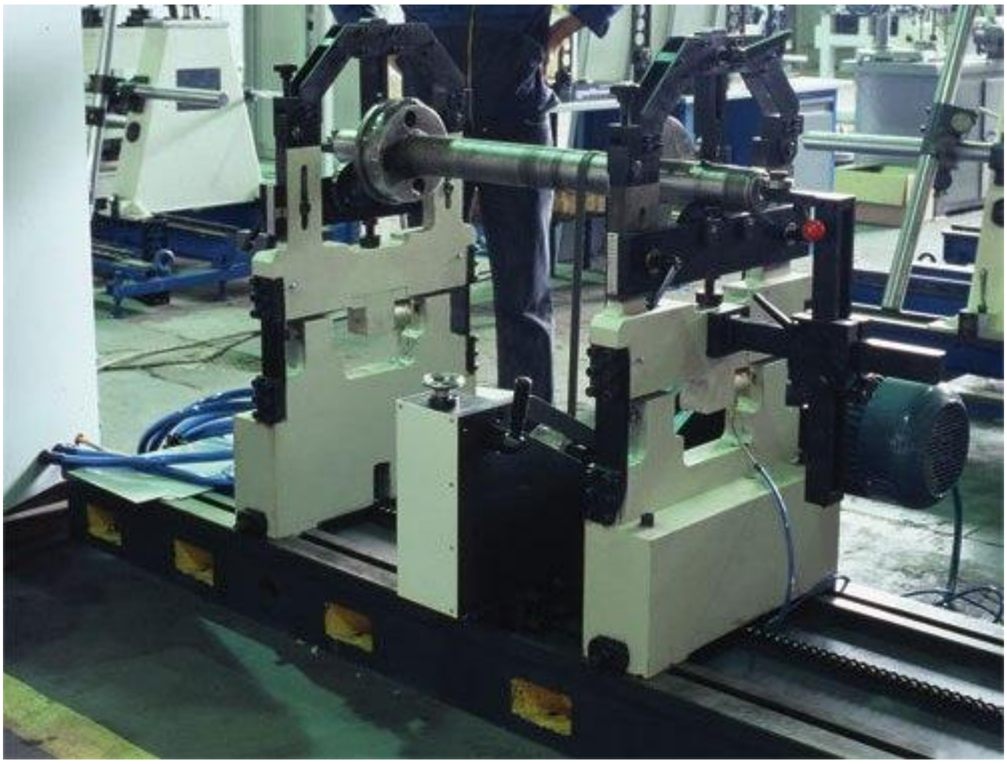


Рисунок 3.11
Балансувальний верстат ВТ1000

Таблиця 3.7
Технічні характеристики балансувальних верстатів серії В

Параметри	Моделі верстатів серії В		
	В-8	В-60	В-1500
Максимальна маса деталі, кг	8	60	1500
Максимальний діаметр деталі, мм	250	1000	1300
Максимальна товщина деталі, мм	270	400	450

Закінчення таблиці 3.7

Параметри	Моделі верстатів серії В		
	В-8	В-60	В-1500
Максимальна частота обертання шпинделя при балансуванні, $хв^{-1}$	2500	2000	1000
Приладове оснащення	Мікропроцесорний вимірювально — управляючий модуль «САПФИР» на базі промислового комп'ютера		
Потужність привода, кВт	0,5	2,2	7,5
Тип привода	Змінного струму, часто регульований		
Кількість площин коригування	1–2	1–2	1–2

Розділ 4
Вимірювання технічних параметрів механічного обладнання

В умовах виробництва іноді доводиться, крім звичайних вимірів за допомогою типових інструментів (штангенциркулів, зубомірів, мікрометрів і т.п.), проводити вимірювання із використанням спеціальних приладів наступних параметрів металургійного обладнання:

- зусиль і крутних моментів;
- напружень у деталях і металоконструкціях;
- переміщень, швидкостей і прискорень;
- амплітуди і частоти коливань (вібрацій) пружних ланок;
- різноманітних дефектів у деталях і металоконструкціях та інше.

Для вимірювання будь-якого із вказаних параметрів потрібні відповідна техніка і, ясна річ, уміння нею користуватись. Апаратура і методи щодо вимірювання окремих параметрів розглянуті у розділі 5. Тому у цьому розділі обмежимось лише описом вимірювань напружень, зусиль і крутних моментів, переміщень і швидкостей.

1. ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЬ І НАПРУЖЕНЬ МЕТОДОМ ТЕНЗОМЕТРІЇ

При вимірюваннях напружень, як правило, застосовується тензометрія із використанням різних типів тензорезисторів [12].

Найбільшого поширення набули дротові і фольгові тензорезистори. Але в останній час почали широко застосовуватись і інші типи резисторів: напівпровідникові, тензорезистоти на основі SMS-шару, які у порівнянні з дротовими і фольговими значно чутливіші, оскільки їх електричний опір досягає 50000 Ом (замість 200 Ом, як-то у дротових і фольгових), а коефіцієнт тензочутливості — 180, в той час як для дротових і фольгових він не перевищує 2,2. А це спрощує конструкцію підсилювачів електричних сигналів і підвищує точність вимірів.

Принцип дії тензорезисторів побудований на зміненні величини їх електричного опору при їх деформації сумісно із пружною дефор-

мацією деталі. Для перетворення змінення опору тензорезисторів у струм зазвичай застосовують схему одинарного моста, який компенсує температурний вплив на показання тензорезисторів і підвищує їх чутливість (рис 4.1).

Надійність роботи тензорезисторів у значній мірі залежить від якості їх скріплення з поверхнею деталі чи металоконструкції. Технологія скріплення тензорезисторів детально описана у роботі [12].

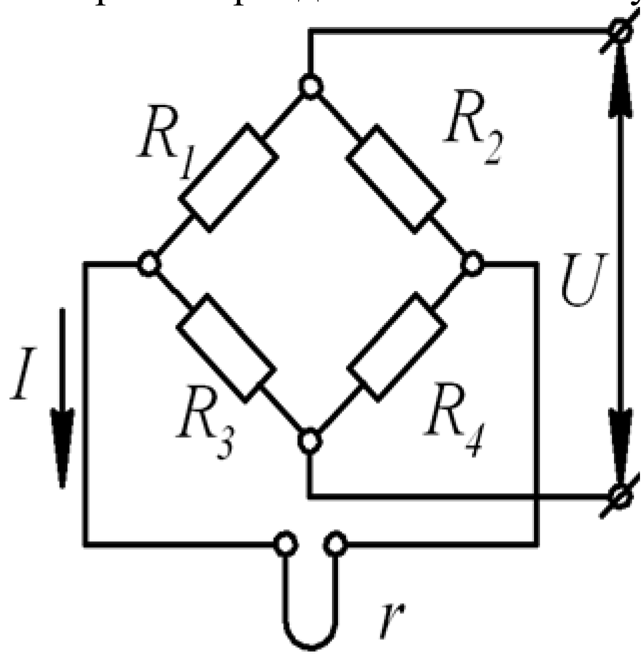


Рисунок 4.1
Схема тензомоста Уітсона

Тензорезистори наклеюються на пружний елемент і складаються із мостів таким чином, щоб отримати найбільшу різницю у виразі для вираження струму:

$$I = U\frac{R_1R_4 - R_2R_3}{M}, \ (4.1)$$

де U — напруга живлення;

R_1, R_2, R_3, R_4 — опір плечей моста;

$$M = r\left(R_1 + R_2\right)\left(R_3 + R_4\right) + $$
$$+R_1R_2\left(R_3 + R_4\right) + R_3R_4\left(R_1 + R_2\right),$$

де r — опір приладу.

Очевидно, що найбільше значення струму виникне, якщо тензорезистори R_1 і R_4 будуть сприймати деформацію розтягнення, що буде збільшувати їх електричний опір, а тензорезистори R_2 і R_3 — де-

формацію стискання, що зменшує їх електричний опір . Проте тут необхідно розглянути схему із її можливості компенсувати вплив температурної дії. Якщо при зміненні температури деталі чи металоконструкції усі резистори моста сприймають одного знаку деформацію, то така схема буде компенсувати температурні дії. У випадку, якщо резистори сприймають різну деформацію, необхідно застосувати мостову схему із компенсаційними резисторами (рис. 4.2).

Причому компенсаційні резистори не повинні сприймати активних деформацій. Їх наклеюють, як правило, на пластинах, які розташовують поряд із поверхнею вимірів. Інколи, якщо не потрібна висока точність вимірів, компенсаційні резистори накладаються безпосередньо на деталь перпендикулярно направленню дії головних напружень чи осі діючої сили.

Згідно із виразом (4.1) у мостовій схемі (рис. 4.2, а) робочі датчики R_1 і R_2 мають сприймати один вид деформації (розтягнення чи стискання), оскільки в іншому випадку сигнал на виході моста буде нульовим.

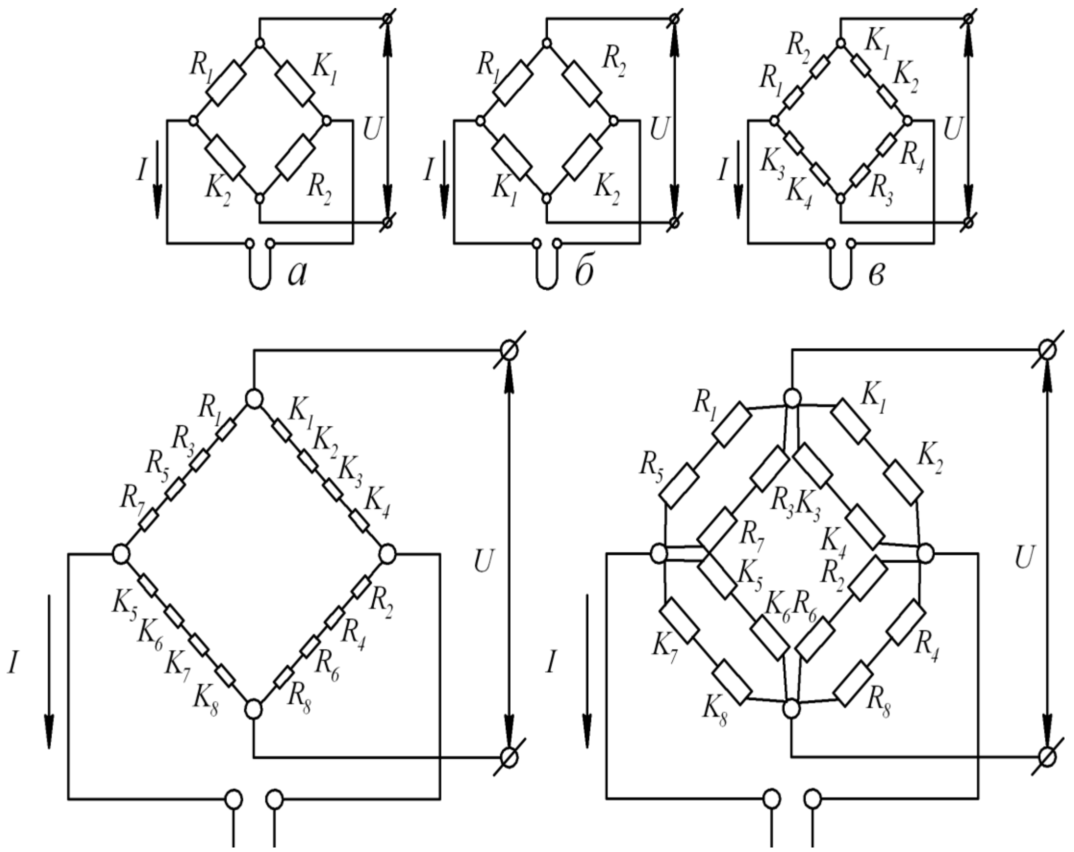


Рисунок 4.2

Схеми тензомостів з робочими і компенсаційними датчиками

Якщо ж робочі датчики мають деформації зворотніх знаків (у випадку вимірювань напружень згину в балці при наклеюванні резисторів із нижньої і верхньої сторін), то схема з'єднання моста буде мати вигляд, що показаний на рис 4.2, б.

Якщо вимірювання здійснюється на двох чи декількох однакових деталях, що сприймають різні за величиною і знаком деформації, то використовують послідовне з'єднання робочих і компенсаційних датчиків у плечах моста, як це показано на рис. 4.2, в.

При вимірюванні зусиль тензорезистори застосовуються разом із різноманітними пружними елементами, що утворюють так звані перетворювачі. Вони можуть використовуватись для вимірювання зусиль від десятих часток до декількох мільйонів ньютонів.

Особливо великою різноманітністю, як за конструктивним виконанням, так і за діапазоном вимірювань зусиль, володіють датчики фірми НВМ ІМТ (табл. 4.1) (російський представник фірми «МЕССТЕХНИК — НВМ»), які виготовляються на стиснення (серії С18, С2, С4, С6А, С9В) і на розтягнення (серії S2, S9, U10M, U1M, U2B, U3, U5,U9B, Z30, Z4A). Кожний із датчиків розрахований на цілий ряд номінальних зусиль, кН: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 10; 20; 50 (величина зусиль вимірювання при цьому складає від нуля до вказаної величини). Матеріал датчиків — неіржавна сталь. Діапазон робочих температур — –10…+70° С.

Таблиця 4.1

Характеристики датчиків зусиль фірми НВМ ІМТ

Тип	Номінальне навантаження, кН	Вид навантаження	Допускне перевантаження, %
1	2	3	4
С18	10…4500	стискання	150
С2	0,5…200	стиснення	130
С4	20…500	стиснення	150
С6А	200…5000	стиснення	150
С9В	0,05…50	стиснення	120
S2	0,02…1,0	розтягнення-стиснення	150
S9	2…50	розтягнення-стиснення	150
U10M	1,25…500	розтягнення-стиснення	230

Закінчення таблиці 4.1

1	2	3	4
U1M	0,01…0,05	розтягнення-стиснення	120
U2B	0,5…200	розтягнення-стиснення	150
U3	0,5…50	розтягнення-стиснення	150/130
U5	100…500	розтягнення-стиснення	150
U9B	0,05…50	розтягнення-стиснення	300
Z30	0,05…10	розтягнення-стиснення	150
Z4A	20…500	розтягнення-стиснення	150

Зовнішній вигляд датчиків С9В і U9B показано на рис. 4.3, а приклад застосування датчиків розтягнення — на рис. 4.4



а



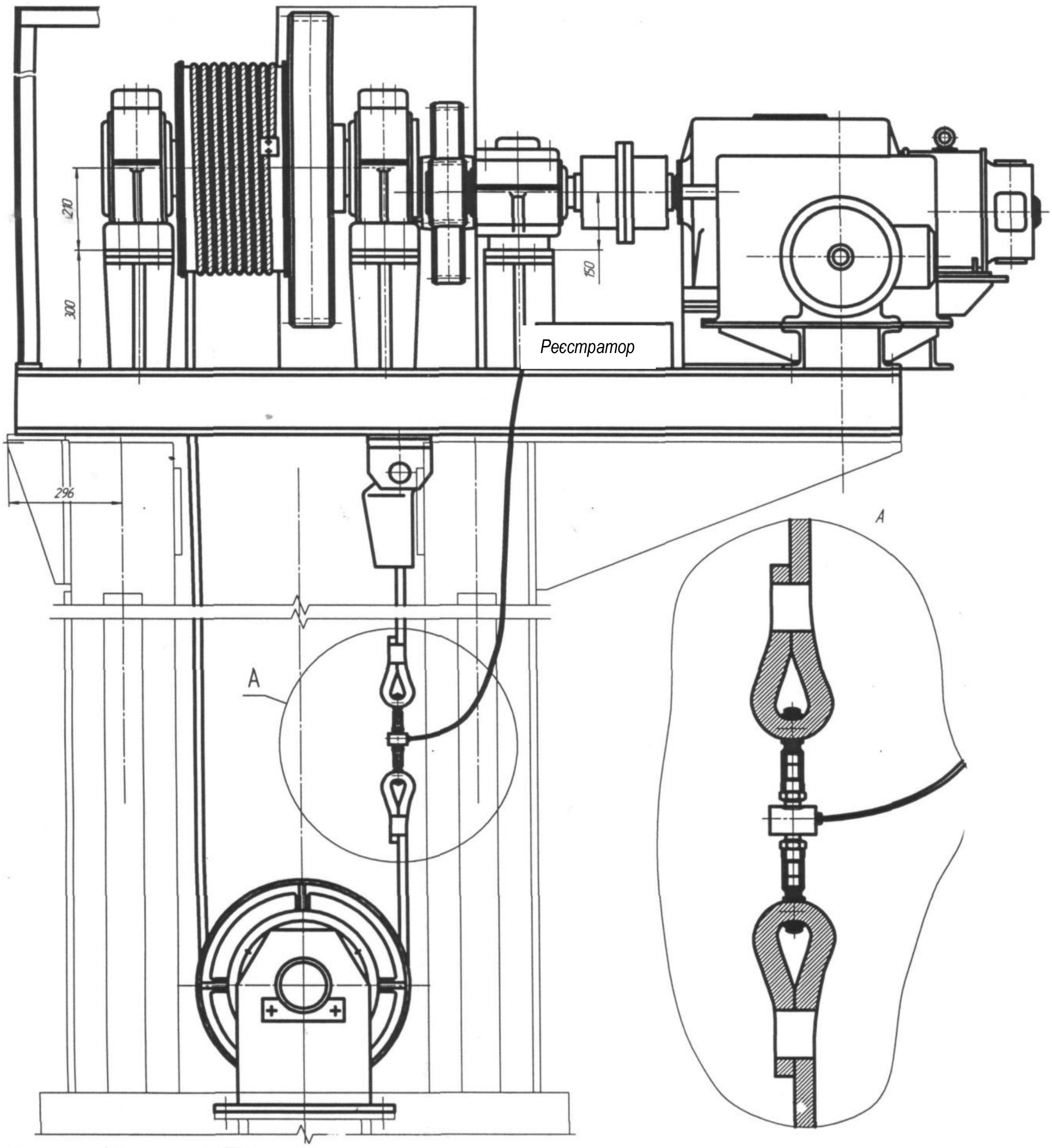
б

Рисунок 4.3
Зовнішній вигляд датчиків С9В (а) і U9B (б)

Серед датчиків сили, що виготовляються на території бувшого СРСР, широкого поширення набули датчики стиснення серій Мхх, Мххх, Мкх, МВ та інші (Весоизмерительная компания «Тензо-М») (табл. 4.2).

Датчики призначені для використання їх у вагових пристроях, але можуть використовуватись і при вимірюванні зусиль в інших видах механічного обладнання.

Це сімейство має традиційний пружний елемент або із хрестоподібним розташуванням згинальних балок, що виготовляються із легованих сталей (серія МК), або у вигляді профільованої мембрани із легованої і неіржавної сталі (серія М). У всіх серіях датчиків використовується мостова схема на базі тензорезисторів.



Позначення виводів (чотирипровідна схема включення)



Рисунок 4.4
Вимірювання зусиль натягу в канатах механізму підйому електродугової печі

Таблиця 4.2
Основні характеристики датчиків серій МК і М

Тип датчика	МК2	М65	М70	М100
Найбільша границя виміру, КН	5; 10; 20	50	100;150;200; 250;300	300;500
Клас точності	1;3	1	3	3
Напруга живлення, В	12	12	12	12
Маса датчика, кг	3,7	3,0	4,0	8,0
Довжина кабелю, м	3	10	10	10

Зовнішній вигляд датчиків показано на рис. 4.5



Рисунок 4.5
Датчики сили «Тензо-М»

Ці датчики можуть використовуватись при вимірюванні зусиль прокатування, правлення, різання і т.п.

Напруження в деталях і металоконструкціях визначають, як відмічалось вище, безпосередньо вимірюванням деформацій, залежність між якими визначаються законом Гука.

При плоскому двоосному напруженому стані для визначення напруження в даній точці використовують два датчика при відомих напрямах головних деформацій і три, коли напрями невідомі. Тут можна застосовувати так звані розетки (розетки з двох датчиків, прямокутна і дельта-розетка із трьох датчиків).

Якщо напрями головних напружень відомі, то один робочий датчик наклеюється в напрямі головної деформації ε_1, а інший робочий датчик — в напрямі головної деформації ε_2 (рис.4.6). Після вимірів їх значення знаходять головні напруження за відомими формулами:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2\right),$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu}\left(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_1\right),$$

де E — модуль пружності;

ν – коефіцієнт Пуассона.

Якщо напрями головних деформацій невідомі, для визначення напружень в даній точці деталі (металоконструкції) використовують схему наклеювання, що показана на рис. 4.6, б (прямокутна розетка).

Головні деформації ε_1 і ε_2 розраховуються на підґрунті виміряних деформацій ε_0, ε_{45}, ε_{90} за формулами:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\left(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45}\right)^2 + \left(\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90}\right)^2},$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\left(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45}\right)^2 + \left(\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90}\right)^2},$$

а напрями головних деформацій виражаються кутом φ згідно з формулою:

$$tg 2\varphi = \frac{2\varepsilon_{45} - \left(\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}\right)}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}.$$

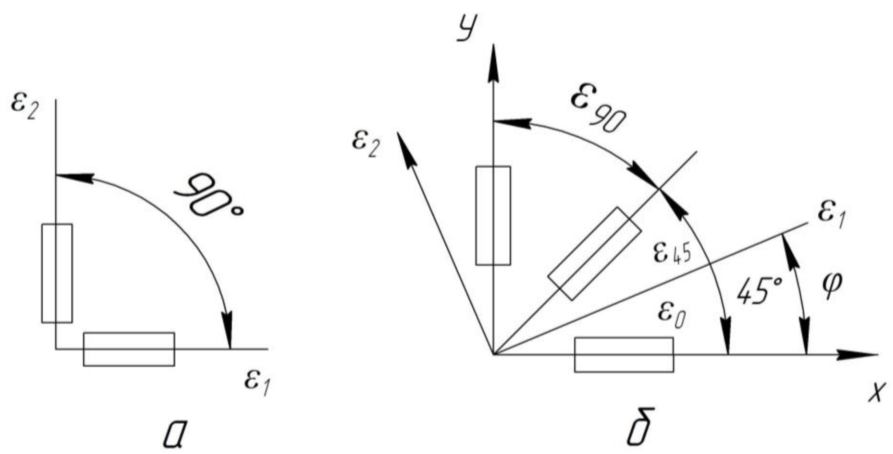


Рисунок 4.6

Розташування тензодатчиків при вимірюванні деформацій у випадках плосконапруженого стану: а — напрям головних напружень відомий, б — напрям головних напружень невідомий

Точність визначення головних напружень залежить від величини і знаків виміряних деформацій ε_0, ε_{45}, ε_{90}. Невеликі похибки виникають тоді, коли ці деформації мають однакові знаки і близькі за величиною.

Для реєстрації вимірів можуть використовуватись осцилографи, самописні прилади та різні типи реєстраторів [11].

2. ВИМІРЮВАННЯ КРУТНИХ МОМЕНТІВ

Раніше основним методом для вимірювання крутних моментів застосо-вувалась тензометрія, при якій тензорезистори наклеювались безпосередньо на вал. Головним недоліком цього методу є те, що для підводу живлення до тензодатчиків і зняття електричного сигналу необхідно установлювати на вал струмоз'ємники, що далеко не завжди можна було зробити.

В останні роки виготовляють десятки різноманітних типів датчиків, що не потребують використання додаткових струмоз'ємних пристроїв і отримали назву безконтактних.

Типовим представником з безконтактним фланцем є датчик T10FS (рис. 4.7). Датчик відрізняється високими швидкістю обертання і точністю вимірів, малою інерційністю рухомих частин, відсутніс-

тю струмоз'ємного пристрою. Вимірюване тіло і фланець для вводу крутного момента виготовлено з однієї деталі.



Рисунок 4.7
Датчики вимірюваного момента типу T10 FS

Датчик складається з двох основних частин: ротора і статора. Ротор у вигляді фланця з'єднують з рухомою частиною об'єкта вимірювання (валом, муфтою і т.п.), а статор установлюють на нерухомій основі. Загальний вигляд датчика показано на рис 4.7 у двох варіантах виконання, а приклад монтажу показано на рис. 4.8, технічні характеристики наведено у табл. 4.4.

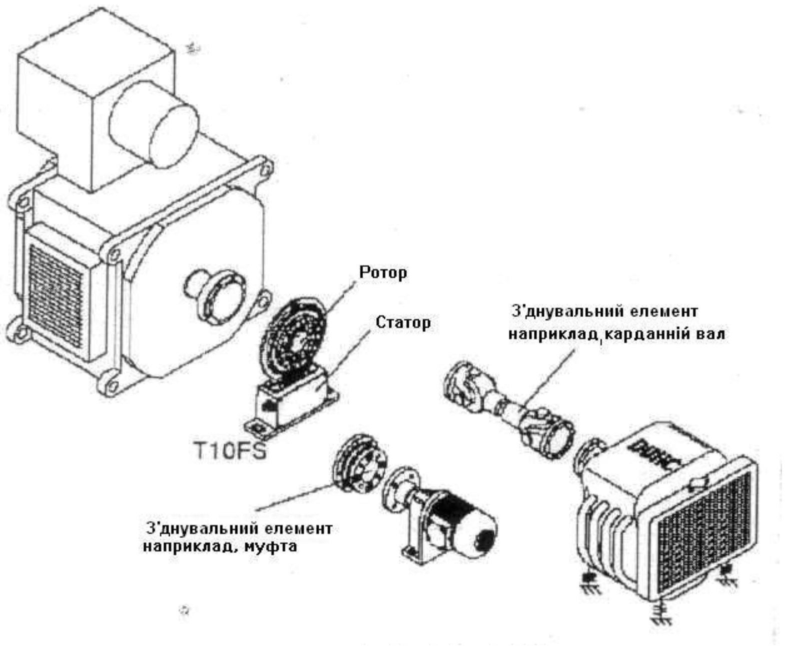


Рисунок 4.8
Приклад установлення датчика T10FS

Таблиця 4.3

Технічні характеристики датчиків

Номінальний крутний момент,	— 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10
Номінальна швидкість обертання, об/хв	— 1500 (для 0,1 кНм; 0,2 кНм); 12000 (для 0,5 кНм; 1 кНм; 2 кНм; 3 кНм); 10000 (для 5 кНм); 8000 (для 10кНм)
Підвищена номінальна швидкість обертання, об/хв	— 24000 (для 0,1 кНм; 0,2 кНм); 22000 (для 0,5 кНм; 1 кНм) 18000 (для 2 кНм; 3 кНм); 14000 (для 5 кНм); 12000 (для 10 кНм)
Клас точності	— 0,05
Зняття сигналу	— безконтактний
Передача крутного моменту	— фланець
Вихідний сигнал:	
по напрузі	
по частоті	10±5 В
Допустиме перевантаження %	160.. .400 (в залежності від номіналу)
Допуск по чутливості, %:	
по частоті	±0,1
по напрузі	0,2
Опір навантаження, кОм:	
вихід по частоті	>2
вихід по напрузі	>5
Діапазон вимірюваних частот,	0...1000 (–3 dB)
Електроживлення (версія SF1/SU2), В	18...30
Максимально допустиме зміщення між ротором і статором,	±1,5
Маса, кг: ротора	1,9; 1,9; 2,4; 2,4; 4,9; 4,9; 8,3; 14,6
статора	1,2; 1,2; 1,2; 1,2; 1,3; 1,3; 1,3; 1,3;
Максимальний діаметр ротора, мм	119 (для 0,1 кНм; 0,2 кНм); 139 (для 0,5 кНм; 1 кНм); 175 (для 2 кНм; 3 кНм); 209 (для 5 кНм); 256 (для 10 кНм)
Максимальний висотний розмір статора, мм	253 (для 0,1 кНм; 2 кНм); 273 (для 0,5; 1 кНм); 309 (для 2 кНм; 3 кНм); 343 (для 5 кНм); 391 (для 10 кНм)

Серед безконтактних датчиків на увагу заслуговують і датчики серії TF Magtrol фланцевого типу. Безпосереднє жорстке закріплення датчика на валу допускає використання муфти тільки з однієї сторони. Це дозволяє полегшити установлення датчика у систему вимірювання.

Телеметрична система датчика TF дозволяє з високою точністю передати сигнал, що ґрунтується на тензометричній технології. Підсилювач сигналу, установлений на валу вимірювання, підсилює сигнал, що надходить від тензомоста, моделює його до високої частоти і передає індуктивно (через ВЧ передавач) на перетворювач. У перетворювачі оцифрований сигнал моменту переходить в аналоговий вихідний сигнал ±5В. Частота обертання може бути виміряна і перетворена датчиком частоти через TTL вихідний сигнал.

Завдяки безконтактному виконанню датчика, допустимий проміжок між вимірювальним фланцем і ВЧ передавачем до 5 мм (головним чином 13 мм) дозволяє приймати сигнал незалежно від осьових і радіальних переміщень. Ще однією перевагою датчика TF є відсутність інтерференції сигналу і на відміну від інших датчиків, він не потребує колової антени на вимірювальному фланці.

В комплект датчика входять (рис. 4.9): вимірювальний фланець із підсилювачем сигналу; ВЧ передавач; перетворювач; коаксіальний кабель.

Додатково постачаються стандартний датчик частоти обертання HF.



Рисунок 4.
Комплект датчика крутного моменту TF

Основні показники моделей датчиків TF наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Технічні характеристики датчиків TF

Модель	Номінальний момент, Н*м	Допустиме перевантаження, %	Клас точності, %	Максимальна частота обертання, об/хв	Маса датчика, кг	Момент інерції, кг/м^2
1	2	3	4	5	6	7
TF 209	20	200	0,1	14000	2,0	$2{,}917 \cdot 10^{-3}$
TF 210	50	200	0,1	14000	2,1	$2{,}996 \cdot 10^{-3}$
TF 211	100	200	0,1	14000	2,2	$3{,}172 \cdot 10^{-3}$
TF 212	200	200	0,1	14000	2,2	$3{,}138 \cdot 10^{-3}$
TF 213	500	200	0,1	8000	3,3	$7{,}803 \cdot 10^{-3}$
TF 214	1000	200	0,1	8000	3,3	$7{,}817 \cdot 10^{-3}$
TF 215	2000	200	0,1	8000	5,2	$1{,}868 \cdot 10^{-2}$
TF 216	5000	200	0,1	4000	9,3	$7{,}47 \cdot 10^{-2}$
TF 217	10000	150	0,1	4000	9,3	$4{,}706 \cdot 10^{-2}$
TF 218	20000	200	0,2–0,25	3000	42,7	$9{,}635 \cdot 10^{-1}$
TF 219	50000	180	0,2–0,25	3000	43,3	$9{,}724 \cdot 10^{-2}$
TF 220	100000	200	0,25–0,30	3000	36,0	$1{,}07 \cdot 10^{0}$

Приклад використання датчика TF 219, що вмонтований між вихідним валом редуктора ГТ-1300-К і вхідним валом валкового брикет-пресу, показано на рис. 4.10.

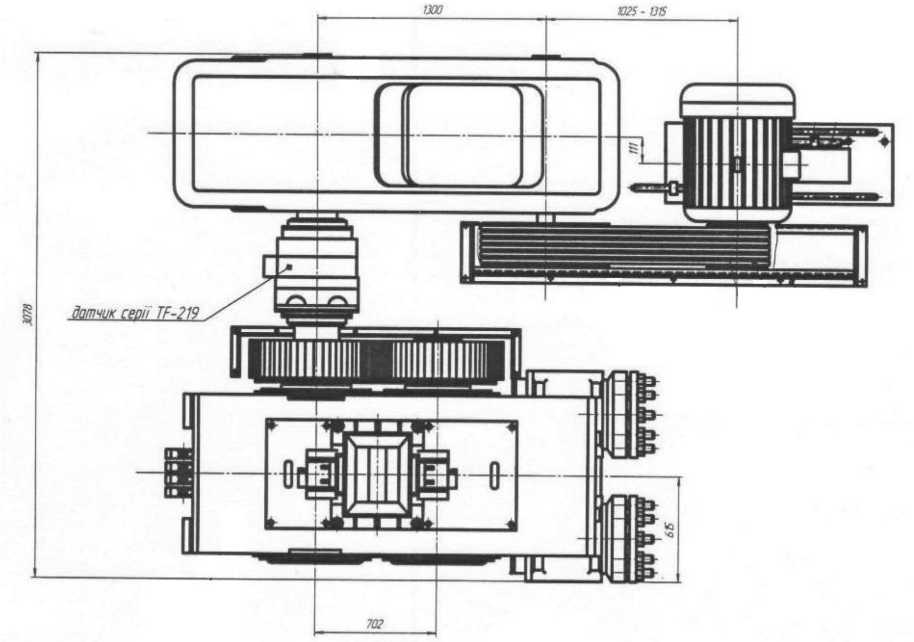


Рисунок 4.10
Приклад установлення датчика момента TF 219

3. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ, ШВИДКОСТІ І ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ

Найбільш простими і доступними у придбанні є універсальні датчики кута повороту серії РФ701 (ООО»Рифтек», Білорусія) (рис. 4.11).



Рисунок 4.11
Датчики кута повороту РФ701

Датчики виконують на основі елементів Холла чи магнітоіндукційних перетворювачів і можуть застосовуватись у трьох випадках, коли необхідно визначати кути повороту, число обертів, швидкість обертання і т.п.

Максимально допустима частота обертання датчиків 40 об/с (2400 об/хв). Похибка в кутових хвилинах — 30. Вихідний сигнал являє собою sin, cos чи RS-232, RS-485. Датчики живляться від джерела однополярної напруги 12 В. Робоча температура датчиків має бути не нижче –60º С і не вище + 70º С.

Найширший спектр універсальних датчиків(кута повороту, числа обертів, швидкості) виробляє фірма SICK-STEGMANN (табл. 4.5).

В датчиках використано принцип двоїчного коду і коду Грея (див. розд. 6, п.6) і вони мають зв'язок з комп'ютером.

На рис. 4.12, 4.13 показано зовнішній вигляд і основні розміри датчиків двох виконань: з валом і без вала (зі шліцевою маточиною-ступицею).

Всі охарактеризовані у табл. 4.5 (в тому числі і показані на рис. 4.12 і 4.13) датчики мають компактну форму, малі габарити і масу (0,3 кг). Момент інерції рухомих частин датчиків складає 54 г·см^2, що забезпечує малу інерційність в процесі вимірювань.

Таблиця 4.5

Короткі характеристики датчиків фірми SICK

Тип	Імп. / оберт	Тип виходу	U, В	Клас захисту	Макс. робоча швидкість, об / хв
1	2	3	4	5	6
ARS60-F4A08192	8192	10. ..32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	6000/10000
ARS60-F4A32768	32768	10. ..32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	6000/10000
ARS60-FAA08192	8192	10. ..32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000

Продовження таблиці 4.5

ARS60-FAA32768	32768	10. ..32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000
ARS60-FDA08192	8192	10...32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000
ARS60-FDA32768	32768	10. ..32 В, паралельний, код Грея	10...32	IP66	3000
ATM60-AAA12X12	8192	10..:32 В, SSI інтерфейс, код Грея чи двоїчний, обирається користувачем	10...32	IP67	3000
ATM90-ATA12X12	8192	10. ..32 В, SSI інтерфейс, код Грея чи двоїчний, вибирається користувачем	10...32	IP65	2000
DKS40-A5J01024	1024	4,5...5,5 В TTL/RS422, 6 каналів	4,5...5,5	IP64	6000
DKS40-R5J01024	1024	10...30BNPN відкр. колектор, 3 канали	10...32	IP64	6000
DKS40-R5J02048	2048	10...30BNPN відкр. колектор, 3 канали	10...32	IP64	6000
DRS60-A4A01024	1024	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	6000/10000
DRS60-A4A04098	4098	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	6000/10000

Закінчення таблиці 4.5

DRS60-AAA01024	1024	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-AAA04096	4096	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-ADA01024	1024	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-ADA04096	4096	4Д ..5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-ADA08192	8192	4,5...5,5 В TTL/RS422	4,5...5,5	IP66	3000
DRS60-C4A01024	1024	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	6000/10000
DRS60-C4A04096	4096	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	6000/10000
DRS60-CAA01024	1024	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CAA04096	4096	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CAA08192	8192	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CDA01024	1024	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CDA04096	4096	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	3000
DRS60-CDA08192	8192	10...32В TTL/RS422	10...32	IP66	3000



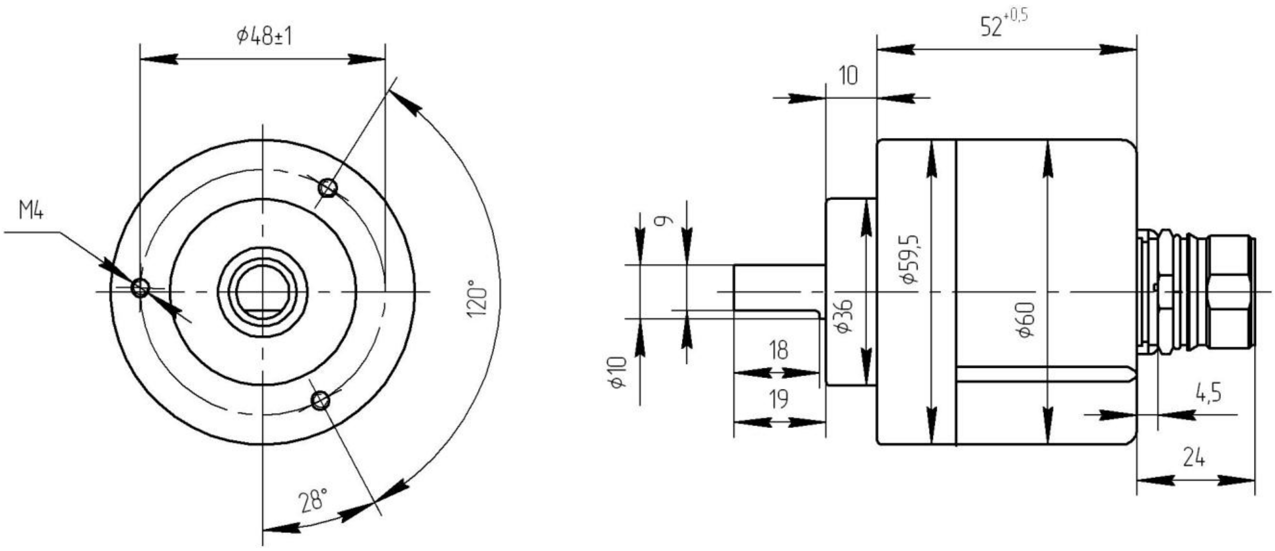
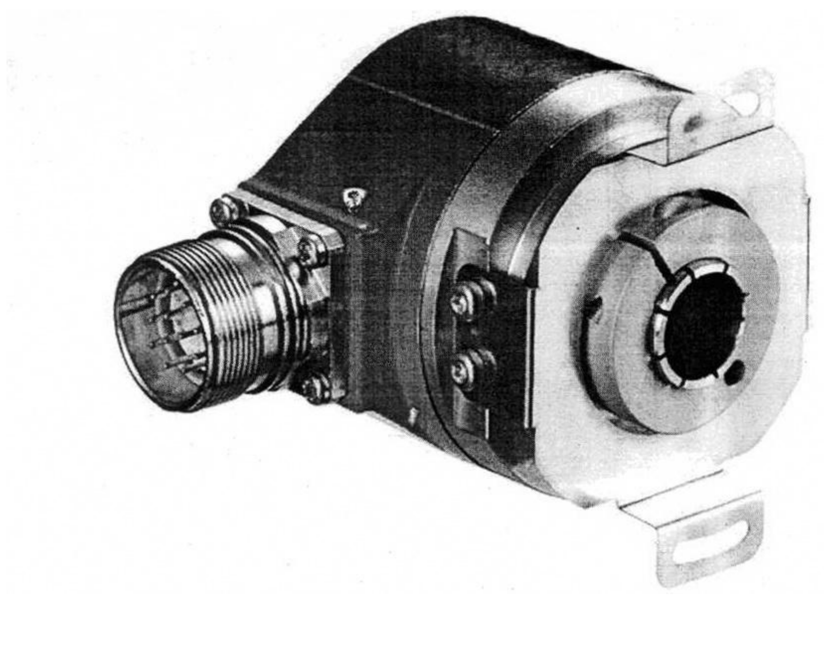


Рисунок 4.12
Зовнішній вигляд і розміри датчика з валом типів ARS60, DRS60

Більша кількість імпульсів за один оберт (від 1024 до 32768) робить ці датчики приладами високої точності. Так, наприклад, при мінімальному числі імпульсів ціна одного імпульсу дорівнює 0,35°, а при максимальному — 0,011°.

Якщо датчики спорядити відповідними пристосуваннями (наприклад, шківами чи барабанчиками), то вони можуть використовуватись при обстеженнях поступально-рухомих об’єктів.

Ще більш високою чутливістю і точністю володіють датчики, що отримали назву абсолютних енкодерів фірми HUBNER-BERLIN.



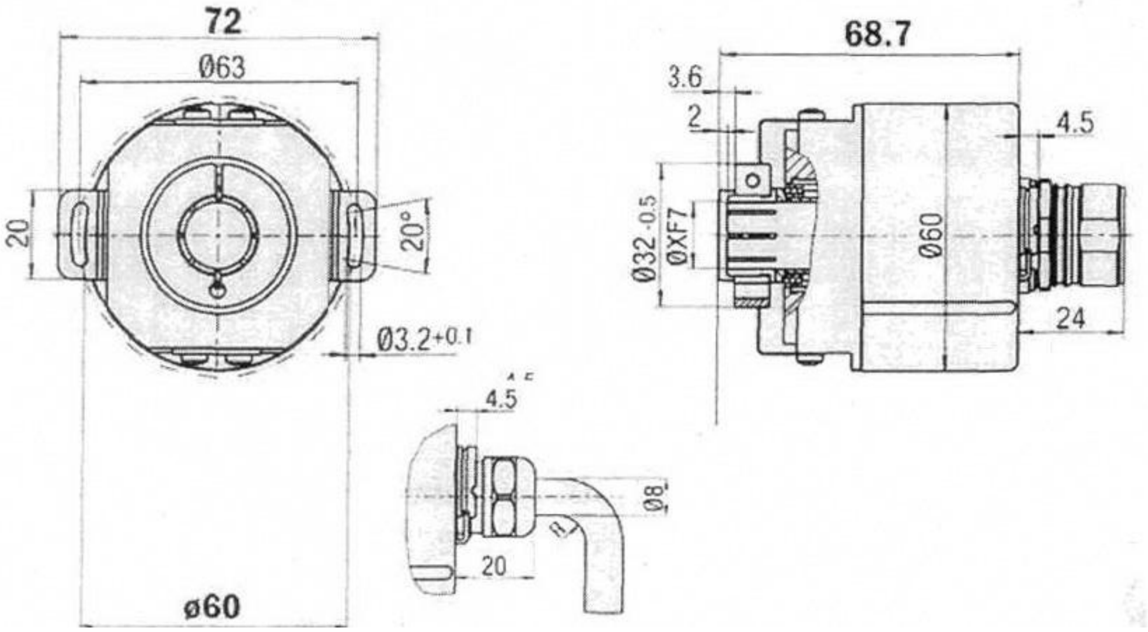


Рисунок 4.13
Зовнішній вигляд і розміри датчика без вала типів ARS60, DRS60

Відмітною рисою абсолютних енкодерів є можливість контролю положення вала навіть при відключеній напрузі живлення. Ця властивість є основною причиною їх використання в системах з високими вимогами точності. Енкодери дозволяють виконувати виміри до 8192 (13 bit) положень вала в межах одного оберту і до 65536 (16 bit) обертів вала. А одна із останніх моделей однообертового енкодера дозволяє фіксувати до 4194304 (22 bit) положень вала в межах одного оберта. Вивід сигналу з енкодера і його програмування здійснюється за SSi інтерфейсом. Можливий також зв’язок із зовнішніми пристроями по Profibus, Device Net чи CANpen. Зовнішній вигляд датчика, здатного фіксувати до 4-х млн. положень вала,



Рисунок 4.14
Енкодер AMG75 (HUBNER-BERLIN)

показано на рис. 4.14. Діаметр притичного фланця датчика складає 75 мм, діаметр вала — 11 мм, маса 1,2 кг.

Фірма HUBNER виготовляє також і комбіновані енкодери і енкодер+електричний чи механічний обмежувач швидкості обертання вала; енкодер + тахогенератор; тахогенератор + електричний чи механічний обмежувач швидкості обертання вала; електричний + механічний обмежувач швидкості обертання вала; двоїчний енкодер-два енкодера з загальним валом і звичайно різною точністю вимірів. Енкодер з двома вихідними сигналами має подвійне сканування оптичного диска. Розроблено системи і з трьома вимірювальними пристроями. Зовнішній вигляд комбінованого енкодера показано на рис. 4.15.



Рисунок 4.15
Комбінований енкодер POG9+FSL/PO G9+ESL

Датчик має два виходи. Діаметр вала — 11 мм, маса датчика — 2,6 кг.

ТАХОМЕТРИ І ТАХОГЕНЕРАТОРИ

Тахометри призначені для вимірювання частоти обертання з відображенням результатів вимірів на індикаторі у цифровому вигляді. Індикатори можуть буди стрілковими чи електронними, а самі тахометри виконують в стаціонарному чи переносному варіанті.

До числа стаціонарних тахометрів відноситься тахометр СОТ-4 (рис. 4.16), призначений для дистанційного виміру частоти обертання працюючих роторних машин і механізмів (VTB-Group).

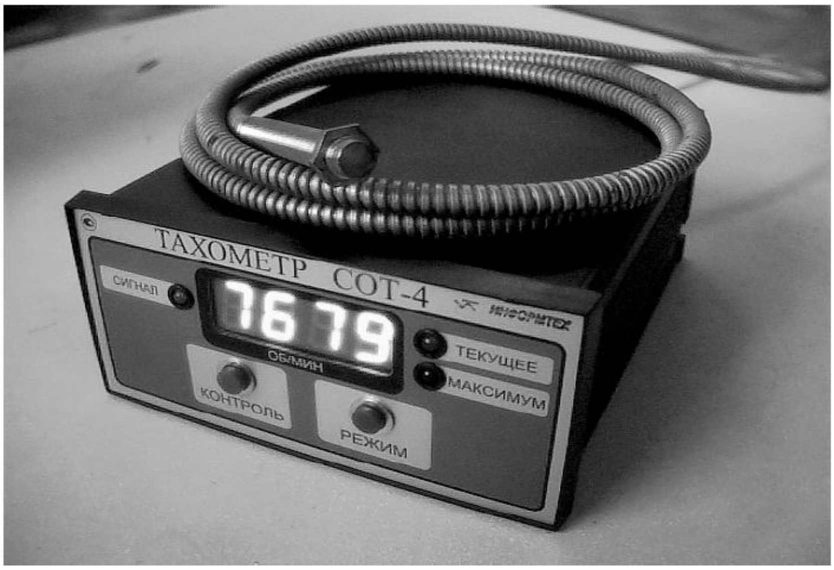


Рисунок 4.16
Стаціонарний тахометр СОТ — 4

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання, об/хв.	6…9000
Границі основної похибки вимірів, %	1±1 од. мл. розр.
Напруга живлення, В	220±22
Вхідний сигнал	ТТЛ — сумісний
Споживана потужність, Вт	3
Габарити ШхГхВ, мм:	
▪ блочного виконання	143×172×72
Сфера чутливості датчика, мм:	
▪ вихрострумового	до 1,5 мм
▪ магнітного	до 1,5 мм
▪ оптичного	до 40 мм
Маса, кг:	
▪ вимірювального блоку	0,6
▪ таходатчика із здовжувачем	0,3

Тахометр працює в двох режимах − вимірів поточного значення і виміру максимального значення частоти обертання. В першому режимі на індикаторі відображається поточне значення числа обертів, а в другому режимі − максимальне значення.

Тахометр має перепрограмований мікроконтролер, завдяки чому забезпечується запам’ятовування результатів вимірів, введення режиму контролю частоти обертання, видача сигналу на управління,

дистанційний контроль і сигналізація, передача інформації в комп’ютер за послідовним інтерфейсом (RS-232, RS-458) поточного, максимального, мінімального значень числа обертів, значень установок, час спрацьовування і т.д.

Характеристики тахометрів АТА-6001, АТТ-600х приведені в табл. 4.6, а зовнішній вигляд універсального тахометра АТТ-600х на рис. 4.17.

Таблиця 4.6

Характеристики тахометрів АТА-6001, АТТ-600х

ТА-6001	Цифровий тахометр (фотодатчик) в діапазоні від 5 до 99999 об/хв.; розділення 0,1 об/хв.; похибка 0,05%; виміри на відстані від 50 до 150 мм.
АТТ-6000	Цифровий тахометр (фотодатчик) в діапазоні від 5 до 99999 об/хв.; розділення 0,1 об/хв.; похибка 0,05%; виміри на відстані від 50 до 150 мм.
АТТ 6001	Цифровий тахометр (контактний) в діапазоні від 5 до 19999 об/хв.; розділення 0,1 об/хв.; похибка 0,05%;
АТТ 6002	Тахометр-стробоскоп; фото-тахометр: 5…99999 об/хв; виміри на відстані 5…150 мм; стробоскоп: 100...1000000 імпульсів/хв.; розділення 0,1 імпульсів/хв.
АТТ-6006	Універсальний тахометр з лазерним маркером: виміри (в режимі контактного тахометра) швидкості обертання валів в діапазоні 0,5…19999 об/хв. і лінійної швидкості переміщення в діапазоні 0,05…1999,9 м/хв., діапазон вимірів (в режимі фото-тахометра) 5…99999 об/хв.; максимальне, мінімальне і останнє виміряне значення автоматично зберігаються в пам’яті.



Рисунок 4.17

Універсальний тахометр АТТ — 6006

Тахогенератори на відміну від тахометрів, які працюють в дискретному режимі, на виході мають постійний аналоговий сигнал, пропорційний частоті обертання вала. Вони призначені для роботи в якості датчиків в системах автоматичного регулювання частоти обертання виводів різноманітних електромеханічних систем, що виконують функції зворотного зв'язку, а також в якості вимірювачів швидкості обертання. Являють собою малопотужні машини постійного чи змінного струму.

Існують найрізноманітніші типи тахогенераторів. Проте їх можна поділити на дві групи: тахогенератори з незалежним збудженням від джерела живлення і тахогенератори зі збудженням від постійних магнітів.

За формою виконання тахогенератори можуть виконуватись з фланцем і на лапках, з фланцем і без лапок. Маса тахогенераторів в залежності від їх конкретного призначення може бути від декількох грамів до декількох десятків кілограмів. Так, наприклад, маса тахогенератора ТП212-0,20-0,5-0,1, призначеного для роботи в якості датчика швидкості в системах автоматичного регулювання електродвигунів прокатних станів і інших крупних металургійних апаратів, складає більше 50 кг, в той же час маса тахогенераторів загального призначення складає від 0,1 до 3,5 кг.

В таблиці 4.7 наведено характеристики тахогенераторів загального призначення серії ТМГ-30….

Зовнішній вигляд тахогенераторів серії ТМГ-30… показано на рис. 4.18.



Рисунок 4.18
Тахогенератор ТМГ-30...

Таблиця 4.7

Характеристики тахогенераторів серії ТМГ -30…

Технічні дані	Од. вим.	ТМГ-30У3	тмг-30У3	ТМГ-30ПУ3	ТМГ-30ПТ3
Номінальна потужність	Вт	30	30	20	–
Крутизна вихідної напруги	мВ/об/хв	115±15%	57,5±15%	57,5±15%	30±15%
Номінальний опір навантаження	кОм	7,23±2%	1,76±2%	2,64±2%	4±2%
Номінальна частота обертання	об/хв	4000	4000	4000	4000
Напруга збудження	В	110	110	Збудження від постійних магнітів	
Номінальний струм збудження (в холостому стані)	мА	130±8%	130±8%		
Нелінійність вихідної напруги	%	±1	±1	±1	±1
Асиметрія вихідної напруги	%	±2	±2	±2	±2
Пульсація вихідної напруги (при частоті обертання від 4000 до 50 об/хв)	%	5	5	5	5
Маса (для виконання 2101)	кг	3,3	3,3	3,2	3,2
Маса (для виконання 2102)	кг	3,34	3,34	3,24	3,24
Маса (для виконання 3601)	кг	3,22	3,22	3,12	3,12
Маса (для виконання 3601)	кг	3,26	3,26	3,16	3,16

Розділ 5
Діагностика відмов і виявлення дефектів

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Терміни діагноз і діагностика походять, відповідно, від грецьких слів diagnosis (розпізнання, визначення) і diagnostikos (здатний розпізнавати, визначати). В сучасному значенні термін технічна діагностика позначає сферу знань, що охоплюють теорію, методи і засоби визначення технічного стану будь-якої системи (машини, агрегату, механізму, металоконструкції, з'єднуваних вузлів і елементів і т. д.). Іншими словами, технічна діагностика являє собою сферу науки про розпізнавання технічного стану об'єктів. Її основу складають теорія розпізнання і теорія контролепридатності [12].

Головною метою діагностування є підвищення надійності і ресурсу контрольованого об'єкту шляхом виявлення на ранніх стадіях дефектів і несправностей і причин їх виникнення, оскільки це дозволить запобігти чи усунути їх розвиток і тим самим виключити випадки відмов і аварій обладнання, які приводять до негативних наслідків.

Технічне діагностування припускає визначення технічного стану об'єкту без їх розбирання, тобто, без втрат часу і засобів на розбирання і виявлення несправностей. Це вкрай важливо, оскільки при відсутності діагностування пошук несправностей, як показує практика, може займати в середньому до 50% загального часу ремонтних робіт. Тим більш, що діагностування дозволяє запобігти незапланованим простоям обладнання і остаточній втраті ремонтопридатності відповідальних вузлів і деталей. Використання діагностування також дозволяє отримати найбільш повну інформацію для можливості забезпечення оптимального регулювання режимів роботи обладнання.

Основою діагностування механічного обладнання є вібраційний і тепловий моніторинг та дефектоскопія. При діагностуванні гідросистем застосовуються специфічні методи і засоби.

2. ВІБРАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ І ДІАГНОСТИКА ОБЛАДНАННЯ

2.1. Методологія вібраційного моніторингу і діагностування

Основною задачею вібраційного моніторингу є нагляд за розвитком у часі певних параметрів вібрації. Для вирішення цієї задачі в процесі моніторингу здійснюють періодичні заміри контрольованих параметрів, виявляють змінення, проводять графічну побудову трендів часових характеристик, визначають основні тенденції цих замірів, порівнюють поточні і прогнозовані змінення із значеннями.

На діагностику вже покладається задача з інтерпретації змінень, виявлених в процесі моніторингу. При цьому:

- виділяють із виявлених небезпечні змінення, які супроводжуються появою дефектів;
- визначають вид і глибину кожного виявленого дефекту;
- обґрунтовують прогноз розвитку цих дефектів;
- визначають часовий інтервал до наступного виміру чи остаточний ресурс обстежуваного об'єкту.

В основу вібраційного моніторингу покладено спектральний аналіз, який являє собою математичний апарат для дослідження періодичних процесів і виявлення в них окремих компонентів, що мають характерні частоти.

Моніторинг рекомендується здійснювати за виміром низько-, середньо- і високочастотних складових вібрацій, вимірюваних в точках на корпусі обладнання, віддалених від найбільш віброактивних вузлів, з тим, щоб внесок у вимірювану вібрацію усіх віброактивних вузлів був порівнянний. В цьому випадку дефекти будь-якого вузла призводять до змінення параметрів контрольованого сигналу і вони мають бути своєчасно виявлені. Тут же необхідно відмітити, що між низько- і високочастотними вібраціями існує принципова відмінність — низькочастотна вібрація дуже добре поширюється на значні відстані практично без втрат, що дозволяє використовувати її для моніторингу всіх вузлів машини одночасно, а високочастотна вібрація, навпаки, швидко розсіюється по мірі віддалення від джерела вібрації, віддзеркалюючись від будь-яких стиків і неоднорідностей структури і її використовують для моніторингу окремих вузлів.

Найпростішим засобом для вимірювання вібрацій є датчик прискорень. Проте реальний сигнал на виході датчика внаслідок накладання різних гармонік коливань практично неможливо проаналізувати. Тому на практиці використовують вузькополосний спектральний аналіз вібрацій, який базується на відповідному апаратному і програмному забезпеченні. При цьому на кривій запису вібрації вже буде легко відрізнити гармонічну (необвідну для аналізу) складову від випадкової складової [12].

Незаперечними перевагами сучасних приладів, оснащених добірним програмним забезпеченням, є те, що вони фіксують сигнал від конкретного вузла, а не від сусіднього. Причому, спектр вібрації бездефектного вузла взагалі не має гармонічних складових (тобто сигналів від пошкодження) і поява в ньому хоча б одного сплеску на кривій запису буде свідчити про наявність того чи іншого дефекту.

На рис. 5.1 показано записи вібрацій бездефектного підшипника (рис. 5.1, а), підшипника з нерівномірним зносом поверхні тертя (рис. 5.1, б) і підшипника, на поверхні якого утворені шпарини (рис. 5.1, в). Як видно із рисунку, спектри вібрацій мають своєрідний вигляд, що при аналізі результатів обстеження практично виключає помилку в постановці діагнозу.

Для виявлення, ідентифікації виду і величини дефекту результати кількісного оцінювання діагностованих параметрів порівнюють з еталонами різних дефектів. Еталон будують в просторі діагностичних ознак, тобто для кожного вузла і для кожної ознаки визначають сукупність величин вимірюваних діагностичних параметрів і допустимих відхилень. Виявляємі дефекти поділяють за величиною на слабкі, що не впливають на ресурс вузла, середні, що характеризують появу у вузлі незворотніх змінень, і сильні, при яких з'являється реальна (в одному із десяти випадків) можливість відмови вузла за час порядку 20–30 днів неперервної роботи.

Еталони будують за одним із трьох можливих способів. Перший — побудова математичного еталону без попереднього етапу навчання системи діагностування. Другий — побудова еталону за даними вимірів діагностичних параметрів однотипних машин. І третій — побудова еталону за періодичними вимірами вібрації діагностованої машини на початковому етапі експлуатації системи діагностики.

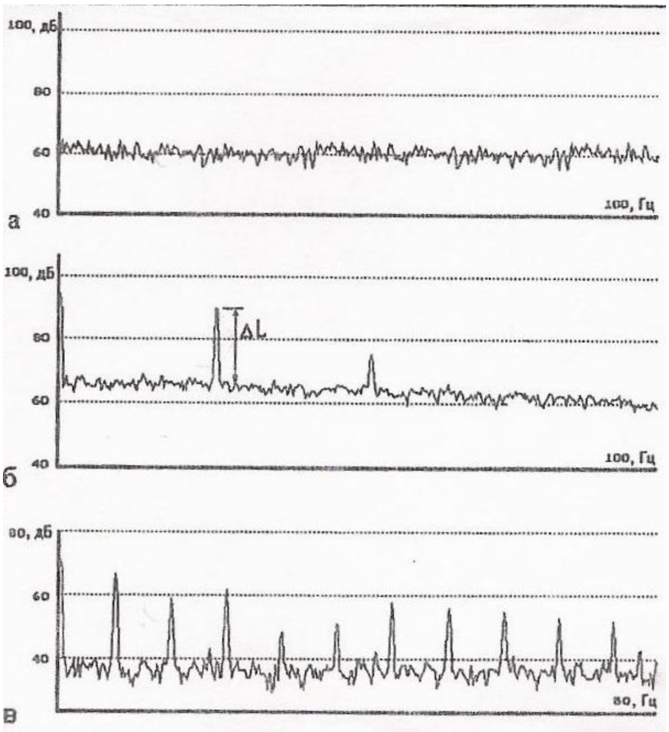


Рисунок 5.1

Спектри обвідної високочастотної випадкової вібрації в бездефектному підшипнику (без модуляції) (а),в підшипніку, що має неравномірний знос (з модуляцією) (б) і в підшипніку, що має раковини на поверхні тертя (з ударами) (в)

Для вузлів, що мають різні види дефектів, побудова еталонів можлива лише при наборі достатніх статистичних даних по багатьом вимірам. Тому на першому етапі замість еталонів використовують пороги граничного змінення діагностичних параметрів, що характеризують бездефектні вузли, а також вузли із середніми і сильними дефектами (рис. 5.2).

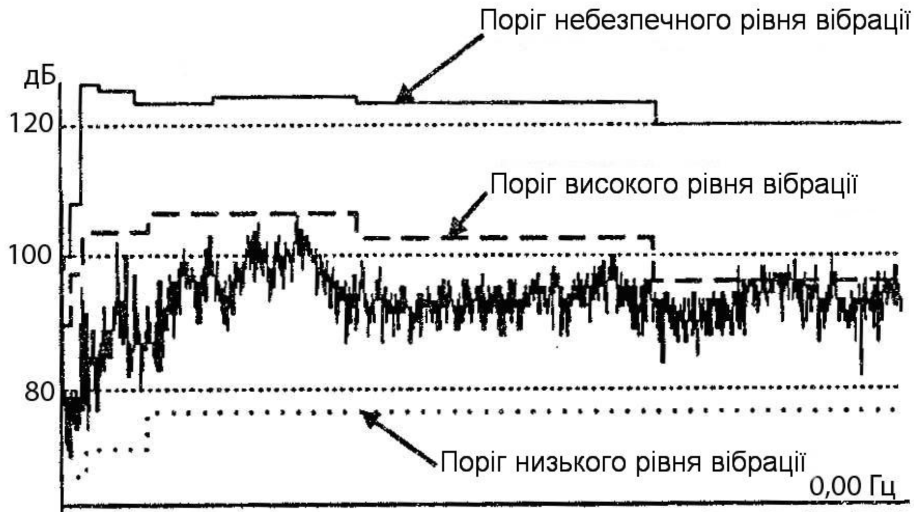


Рисунок 5.2

Спектр вібрації машини з трьома порогами

Пороги визначають за всією сукупністю параметрів, що характеризують кожний вид дефекту. Оскільки в якості діагностичних ознак можуть використовуватись різноманітні властивості вібрацій, кожний із них нормують на свій поріг сильного дефекту, а потім для загального уявлення переводять у два види одиниць — зростання рівня вібрації над середньою величиною, яке вимірюється в дицебелах, і величини модуляції вібрації, що подається у відсотках.

2.2. Апаратура для вібраційного моніторингу і діагностування

В залежності від стратегії діагностування і необхідності в періодичності контролю параметрів вібрації використовується стаціонарна і переносна апаратура.

Стаціонарну апаратуру застосовують для неперервного контролю технічного стану обладнання. Загалом апаратуру поділяють на контрольно-сигнальну (для контролю гранично-допустимого рівня) і діагностичну (для визначення виду і степеню розвитку дефектів, виявлення тенденцій до змінення діагностичних ознак). При періодичному контролі застосовується переносна апаратура. Збирання, зберігання і аналіз вібрацій здійснюється за допомогою колекторів-віброаналізаторів. В сучасних приладах передбачена можливість перевантажувати дані вимірів в ПК для зберігання і аналізу.

До нового покоління приладів, що мають широкі можливості, можна віднести віброаналізатор СД-12М (АО ВАСТ Санкт-Петербург) (рис. 5.3). Він має повністю цифровий аналізатор спектрів і збирач даних з розширеними можливостями і повним комплектом вібраційних вимірів. Прилад суміщає в собі сучасні технології цифрового оброблення сигналів, що забезпечує високу надійність і точність вимірів, з простотою і зручністю інтерфейсу користувача. Він може входити в склад діагностичного комплексу на базі ПК і додаткових приналежностей і аксесуарів. В цьому випадку його можливості значно розширюються.

Прилад має лише один канал для підключення до об’єкту вимірювання (тобто, одночасно можна проводити моніторинг лише одного об’єкта обстеження). Діапазон вимірюваних частот вібрацій — до

25 кГц, число ліній в спектрі — 400...1600. Дисплей приладу (графічний 240×128, монохромний з підсвіченням) дозволяє мати чітку інформацію про стан обстежуваного вузла, що подається в графічному вигляді. Моніторинг і автоматичне діагностування обертових машин і обладнання базується на пакеті програм Dream for Windows.

До числа дефектів, що виявляються відноситься:

- дефекти вала з підшипниками кочення;
- дефекти вала з підшипниками ковзання;
- дефекти зубчастого зачеплення;
- дефекти в зубчастих передачах з підшипниками кочення;
- дефекти в зубчастих передачах з підшипниками ковзання;
- дефекти ланцюгових і паскових передач;
- дефекти робочих коліс насосів і вентиляторів;
- дефекти в механічній і електромагнетній частинах електромашин.



Рисунок 5.3.
Прилад СД-12М

До того ж, якщо взяти вузол, то за допомогою цього приладу можна виявити стан його окремої деталі. Наприклад, програмою приладу передбачена ідентифікація наступних груп дефектів підшипників кочення:

- обкочування нерухомого кільця підшипника;
- неоднорідний радіальний натяг;
- перекіс нерухомого (зовнішнього) кільця;
- знос зовнішнього кільця;
- шпарини, тріщини на зовнішньому кільці;
- знос внутрішнього кільця;
- знос тіл кочення і сепараторів;
- шпарини, сколення на тілах кочення;
- складні (подвійні і т. п.) дефекти;
- проковзування кілець в посадкових місцях;
- дефекти змащення (старіння, недостатність, сторонні домішки і т. п.).

В той же час для використання такого приладу необхідна додаткова освіта (фахівця-діагностика). Та й ціна приладів такого рівня надто висока (декілька десятків тисяч доларів). Тому більшого поширення набули віброметри.

Незалежно від типу, всі відомі конструкції віброметрів мають в порівнянні з віброаналізаторами значно менші можливості при оцінюванні стану обладнання. Але вони відрізняються простотою їх застосування, що не вимагає спеціальної підготовки користувача, і, звісно, значно меншою вартістю (декілька тис. гривень, наприклад, вартість віброметра VM-6360 — 2999 грн.).

Серед відомих віброметрів попитом користуються наступні віброметри (виробництво Росія): „Янтарь“ і „Опал“.

„Янтарь“ призначається для вимірів вібрації при контролі, моніторинзі, аналізі і вібраційній діагностиці технічного стану роторних агрегатів і механізмів з обертовими елементами. Діапазон вимірюваних частот до 10 кГц. Живлення — акумуляторне. В комплекті з приладом надаються навушники, що дозволяють фахівцям, поряд з фіксуванням вібрацій на дисплеї, оцінювати стан обладнання по шуму.

„Опал“ призначається для вимірювань середньоквадратичного значення віброшвидкості будь-якого роторного обладнання з метою контролю його технічного стану. Прилад оснащено цифровим дисп-

леєм з підсвіченням та індикатором рівня залишкового заряду акумулятора. Включення режиму вимірювання здійснюється натиском однієї кнопки. Похибка приладу складає ±0,3 мм/с (в діапазоні 1,5...20 мм/с) і ±2 мм/с (в діапазоні 20...100 мм/с). Частота вимірів до 1,0 кГц.

На належну увагу заслуговує і віброметр VM-6360 (виробник Тайвань, постачальник „Сімвольт“ Україна), який являє собою малогабаритний, автономний, мікропроцесорний прилад для вимірювань параметрів вібрації (рис. 5.4). Він може використовуватись як у системах вібраційного моніторингу обладнання — для збору даних по загальному рівню вібрації, так і в системах вібродіагностики — для виявлення дефектів за результатами спектрального аналізу.



Рисунок 5.4
Віброметр VM-6360

Конструкція приладу забезпечує граничну простоту при проведенні вимірювань. Точність і роздільна здатність приладу дозволяють достовірно контролювати поточний технічний стан обладнання та переходити до перспективного способу обслуговування обладнання — по фактичному його стану (тобто, не пов’язуючи ремонт з раніше установленими графіками ремонту).

Технічна характеристика приладу

Вимірювані параметри — *швидкість, прискорення, зміщення RPM, частота*

Датчик	*— п'єзоелектричний акселерометр.*
Діапазони вимірювання:	
швидкість, мм/с	*— 0,1...400,0*
прискорення, м/с^2	*— 0,01...400,0*
зміщення, мм	*— 0,01...4,0*
обертання (RPM), об/хв	*— 60...99990*
Частотний діапазон для вимірювання	*— від 10 Гц до 1,0 кГц.*
Прискорення:	
в режимі 1	*— від 10 Гц до 1,0 кГц*
в режимі несення	*— від 10 Гц до 10,0 кГц*
Зміщення	*— від 10 Гц до 1,0 кГц*
Похибка	*— <5%+2 цифри*
Роздільна здатність, мм/с^2	*— 0,01*

Більш детально ознайомитись з приладами вібраційного моніторингу і вібродіагностики можна в роботі [12].

Що стосується саме вібродіагностування, то тут належить відмітити наступне. Найбільш повно за сигналами вібрації діагностується ті вузли, які є постійними джерелами вібрації. До них відносяться:

- підшипники кочення і ковзання;
- ротори машин (двигуни, обертальні деталі роторного типу);
- механічні передачі (зубчасті, паскові, черв'ячні, ланцюгові і т. п.)

В даному розділі розглянемо лише діагностування найбільш поширених елементів (підшипників і зубчастих закритих передачредукторів).

2.3. Діагностування підшипників ковзання

Для діагностування підшипників ковзання у програмному забезпеченні діагностичної апаратури переважно використовуються методи вузькосму-гового спектрального аналізу вібрації і її обвідної. Перший з них забезпечує діагностику за низькочастотною вібрацією, а другий — за високочастотною вібрацією.

При вимірюванні високочастотної вібрації, як відмічалось вище, коли вібрація швидко затухає по мірі віддалення від дефектного вуз-

ла, можливо без особливих труднощів виявити джерело цих вібрацій. В той же час за низькочастотною вібрацією, можливо, виявити дефекти тих вузлів, до яких неможливо добратись в процесі вимірювань, оскільки низькочастотні вібрації поширюються на значно більшу відстань, чим високочастотні [2].

Проте в обох випадках виникають певні ускладнення діагностування, оскільки на вібрацію підшипникового вузла впливають як дефекти самого підшипника, так і умови його роботи. Тому задача діагностування вирішується в два етапи: спочатку визначаться умови роботи підшипника, а потім, з їх урахуванням, визначається глибина дефектів підшипників. До того ж для оптимізації процесу діагностування шляхом програмного забезпечення дефекти власне підшипника, режими його роботи і дефекти інших вузлів, що зменшують ресурс підшипника, об'єднують в групи. А ці групи за особливостями формування вібрації різняться настільки, що надають можливість ідентифікувати їх вид за параметрами вузькосмугових спектрів вібрації і її обвідної. Всього цих груп вісім [2]:

- незрівноваженість ротора (вала, барабана, колеса і т.п.);
- биття вала (муфти);
- дефекти вузлів кріплення підшипника;
- автоколивання вала;
- перекіс підшипника;
- знос підшипника;
- удар в підшипнику;
- дефекти змащування.

Незрівноваженність ротора збільшує інтенсивність вібрації машини на частоті його обертання, що слугує ознакою певного дефекту. Через незрівноваженість відцентрові сили, що діють на ротор, можуть перевищувати за величиною силу його тяжіння, що призведе до обкочування шийкою вала вкладишів підшипника. В цьому випадку при нерівній поверхні вкладишів вібрація зростає на гармоніках частоти обертання і з'являється модуляція сил тертя з частото обертання ротора, тобто в спектрі обвідної вібрації з'являються лінії на гармоніках частоти обертання ротора.

Биття вала (муфти) призводить до тих же наслідків, що і значна незрівноваженність ротора, тобто до обкочування шийкою вала вкладишів підшипника.

Приклад виявлення биття вала з використанням апаратури і програмного забезпечення «АО ВАСТ» показано на рис. 5.5. Знак „$f_{вр}$“ на цьому графічному тренді позначає частоту обертання вала. $f_{вр}$

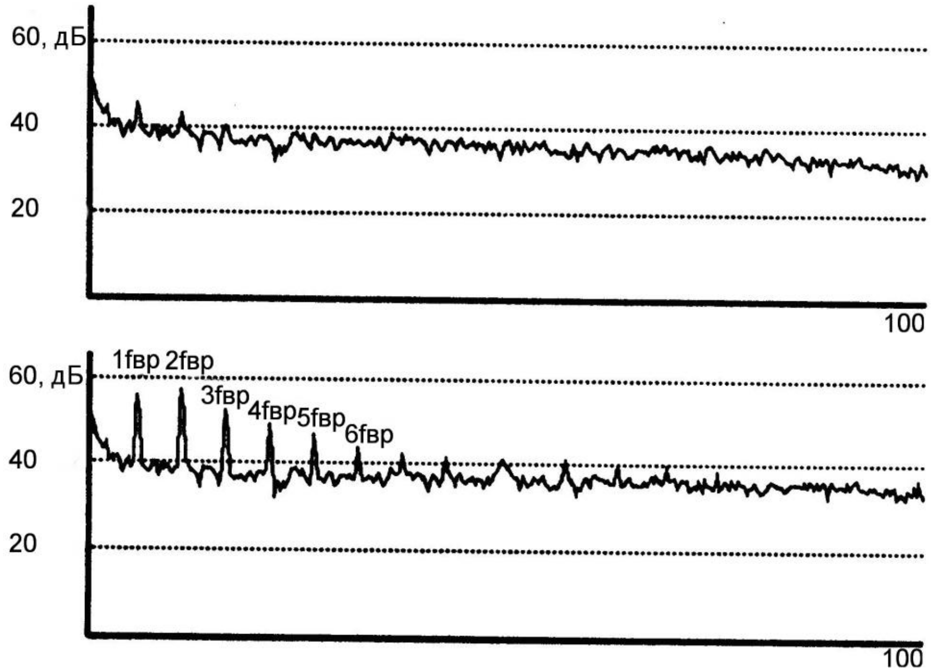


Рисунок 5.5

Приклад виявлення биття вала за спектром обвідної вібрації: а-вихідний спектр обвідної вібрації; б-спектр обвідної при битті вала

Автоколивання вала в підшипниках призводять до зростання вібрації машини на гармоніках частоти цих коливань, оскільки автоколивання викликають переміщення вала в площині, перпендикулярній його осі обертання, то вони є наслідком або збільшення зазору між поверхнями тертя, або неправильної подачі змащення. Відмітною ознакою процесу вібрації в цьому випадку є те, що перша частота із групи частот в два чи три рази нижче частоти обертання вала. Аналогічним чином із тією частотою змінюються сили тертя і, отже, виникає модуляція високочастотної вібрації підшипника. Діагностичними ознаками автоколивань вала є поява складових низько-частотної вібрації на частотах, кратних другій і третій субгармонікам частоти обертання чи ж складових в спектрі обвідної високочастотної вібрації.

Приклад виявлення автоколивань за спектром обвідної вібрації приведено на рис. 5.6. Цифрами, що стоять перед знаком частоти $f_{вр}$, позначається черговість сплеску частот (гармонік) (k = 1,2,3,…).

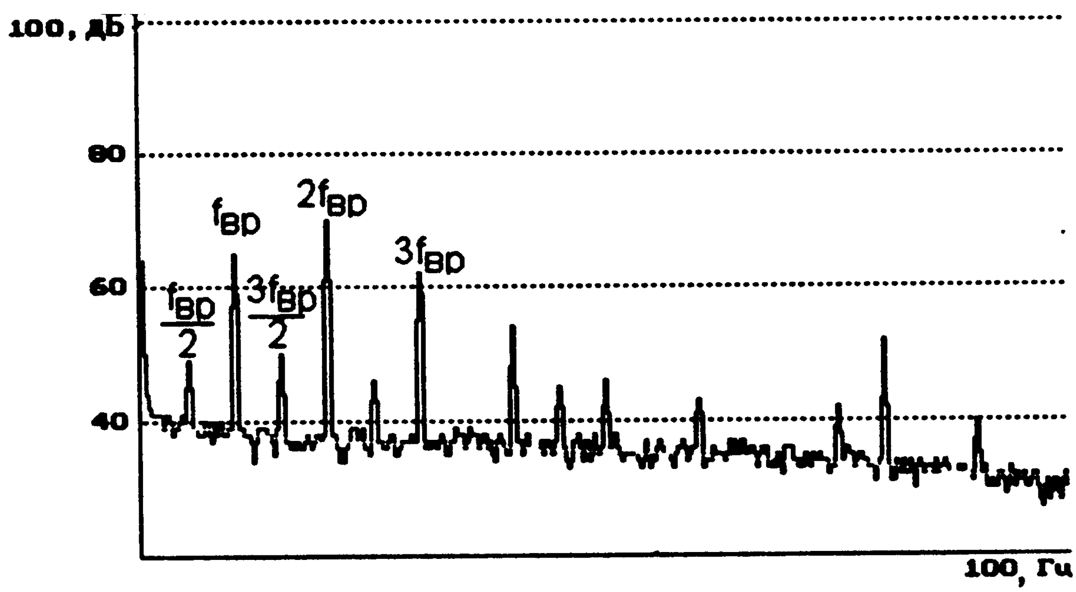


Рисунок 5.6
Приклад виявлення автоколивань за спектрами обвідної

Перекос підшипника призводить до зростання вібрації на частотах, кратних другій гармоніці частоти обертання, і до модуляції сил тертя і високочастотної вібрації підшипникового вузла тими ж частотами. Однаковий вплив на вібрацію, з погляду проявлення ознак вібрації, підшипникових вузлів і машин в цілому чинять як перекіс безпосередньо підшипника, так і згин вала в районі підшипника.

Приклад виявлення перекосу підшипника за спектром обвідної показано на рис.5.7.

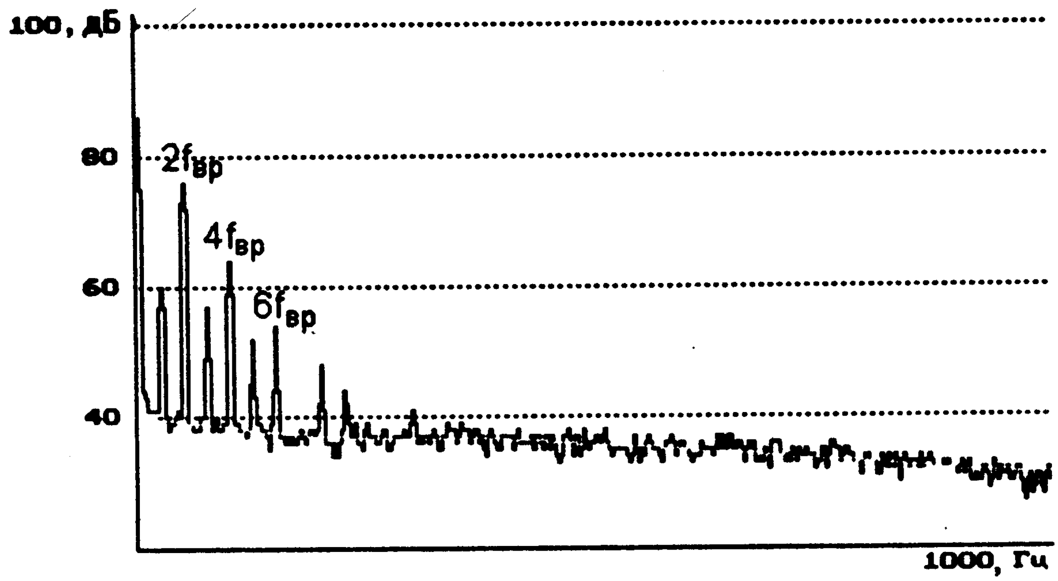


Рисунок 5.7
Приклад виявлення перекосу підшипника за спектром обвідної

Знос підшипника (знос вкладишів) супроводжується зростанням величини і зміненням форми зазору, а також викришуванням поверхонь окремих ділянок вкладишів, що призводять до змінення цілої низки параметрів вібрації, причому ці змінення безпосередньо залежать від режиму роботи ротора (вала, муфти і т. п.) і його дефектів.

Діагностичні ознаки зносу підшипника поділяють на дві незалежні одна від іншої групи. Перша група пов'язана з нестабільністю масляного клина і являє собою змінення форми фону в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипника у вигляді його підйому на низьких частотах (рис. 5.8). Друга група ознак визначається зростанням гармонік спектра вібрації і її обвідної на ряді частот $kf_{вр}$, але з одночасним зростанням високочастотної випадкової вібрації (рис. 5.9).

Удари в підшипниках частіше усього виявляються і визначаються за обвідною високочастотних вібрацій і поділяються на дві групи: гідродинамічні и механічні (сухі).

Перший тип ударів являє собою короткочасну появу ділянок у мастильному шарі, що характеризуються турбулентністю потоків мастила. Другий тип більш небезпечний вид ударів, поєднаний з розриванням масляної плівки і появою короткочасного контакту поверхонь тертя.

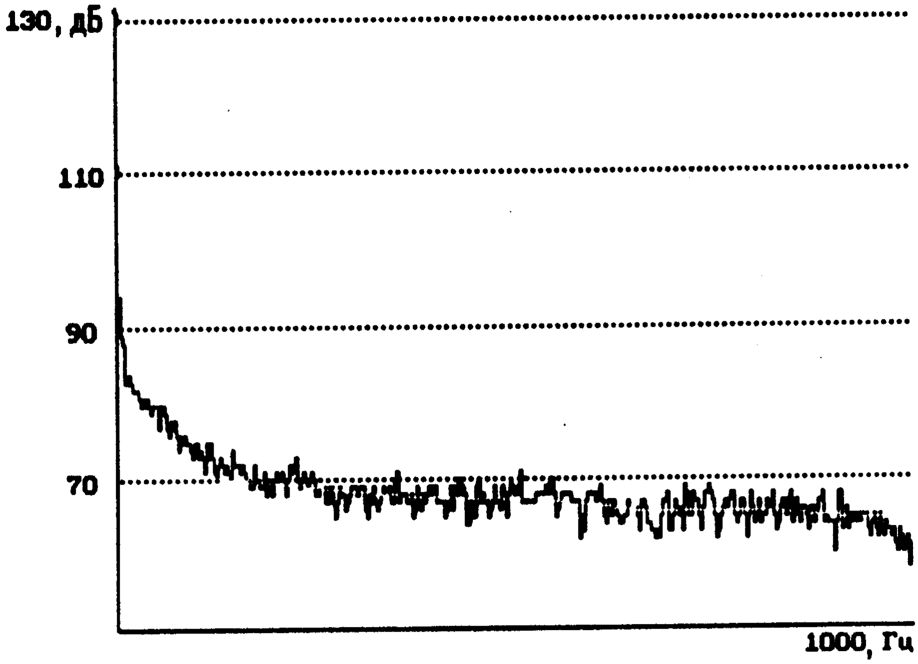


Рисунок 5.8

Приклад змінення форми фону в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипника у вигляді його підйому на низьких частотах

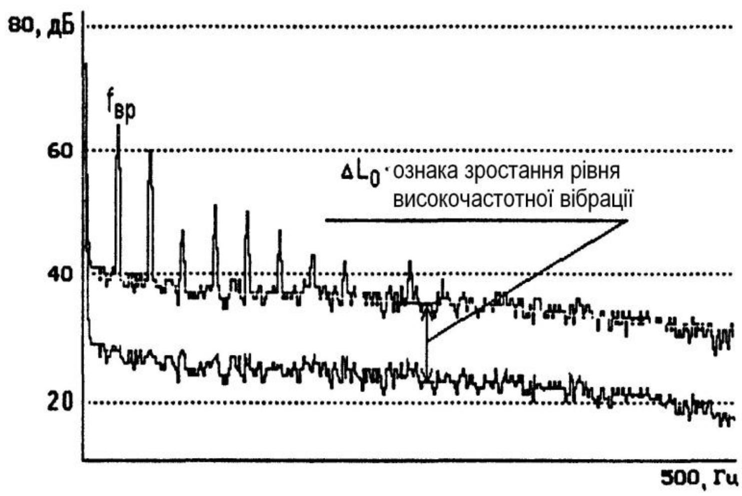


Рисунок 5.9

Приклад виявлення зносу підшипника за спектром обвідної і зростання рівня високочастотної вібрації

Характерною ознакою проявлення першого типу є короткочасне стрибкоподібне змінення високочастотної вібрації підшипника, яке не призводить, як правило, до значного зростання рівня високочастотної вібрації, в той час як у другому випадку зростання високочастотної вібрації виявляється достатньо сильним.

Діагностичні ознаки проявлення ударів в підшипниках лише незначно відрізняються від групи ознак, що виявляються гармонічною складовою спектру вібрації і її обвідної з частотою $kf_{вр}$. Ця відміна стосується спектру обвідної вібрації, в якому при появі ударів невеликої тривалості виникає велике число гармонік $kf_{вр}$ аж до граничної частоти спектру. Приклад для цього випадку наведено на рис. 5.10.

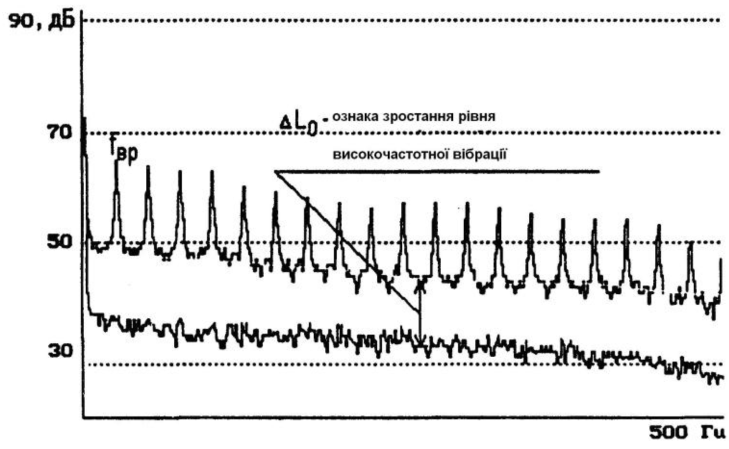


Рисунок 5.10

Приклад виявлення «сухих» ударів в підшипниках за спектром обвідної

Дефекти змащування призводять до зростання високочастотної вібрації підшипника і можуть призвести до розривання масляного шару і ударам. Проте ці удари не є періодичними і в спектрі обвідної вібрації відсутні гармонічні складові, якщо в підшипнику немає інших дефектів.

Діагностичною ознакою дефектів змащення є зростання високочастотної випадкової вібрації підшипникового вузла при умові, що він не пов'язаний із зносом підшипника чи появою в ньому ударів.

Вкрай важливим аспектом при виконанні вимірювань є правильний вибір точок контролю вібрації і діагностичних ознак.

Діагностування підшипників здійснюються шляхом вимірювання вібрацій на корпусі підшипникового вузла. Обов'язковою умовою вимірювань є [23]:

- наявність безпосереднього контакту вкладишів підшипника з тою частиною корпусу підшипникового вузла, на яку кріпиться датчик вібрації;
- збіг результатів вимірювання спектрів вібрації при повторній установці датчика;
- вибір напряму вимірювань, по можливості, перпендикулярного осі обертання вала, і такого, щоб проходив через цю вісь.

Більш детально питання діагностування підшипників ковзання розглянуто в роботі [2].

2.4. Діагностування підшипників кочення

Для діагностування підшипникових вузлів з підшипниками кочення в сучасних діагностичних програмах використовуються двоє основних підходів [2].

Перший підхід реалізується в задачах ранішнього виявлення дефектів за одноразовим вимірюванням вібрації і використовуються тільки результати спектрального аналізу обвідної високочастотної випадкової вібрації. Цей період використовується і для довгострокового прогнозу стану підшипників.

Другий підхід використається для нагляду за розвитком дефектів і для короткострокового прогнозу стану підшипникових вузлів тоді, коли дефекти стають аварійно небезпечними.

Наявність особливих режимів підшипників кочення в машині з механічними передачами (зубчастими, пасковими, ланцюговими, черв'ячними) призводить до того, що правила діагностики підшипників суттєво змінюються. Тому в програмах організовані спеціальні алгоритми діагностування підшипників в складі механічних передач, в тому числі і редукторів.

Оскільки на вібраційний стан підшипникового вузла впливають не тільки дефекти самого підшипника, але і режими його роботи, при автоматичній діагностиці вирішуються одночасно дві задачі (як і при підшипниках ковзання): визначаються особливості роботи підшипників, а потім з їх урахуванням — вид і глибина наявних в підшипнику дефектів.

Розподілити всі можливі дефекти за результатами вимірювання вібрації дуже складно, особливо при автоматичному режимі діагностування. Тому дефекти поділяють на групи, як і для підшипників ковзання, з урахуванням особливостей їх впливу на вібрацію і особливостей експлуатації машин.

В програмному забезпечені ВАСТ передбачена ідентифікація наступних груп дефектів [2]:

- обкочування нерухомого кільця підшипника;
- неоднорідний радіальний натяг;
- перекіс нерухомого (зовнішнього) кільця;
- знос зовнішнього кільця;
- шпарини, тріщини на зовнішньому кільці;
- знос внутрішнього кільця;
- шпарини, тріщини на внутрішньому кільці;
- знос тіл кочення і сепараторів;
- шпарини, сколи на тілах кочення;
- складні (подвійні і т. п.) дефекти;
- просковзування кільця в посадковому місці;
- дефекти мастила (старіння, нестача, сторонні домішки і т. п.).

Робота підшипника в складі машини при наявності в ньому дефектів може впливати на вібрацію і процеси, що її моделюють, з наступними частотами [2]:

- частота обертання рухомого кільця відносно нерухомого — $f_{вр}$;
- частота обертання сепаратора відносно зовнішнього кільця

$$f_c = \frac{1}{2} f_{вр}(1 - \frac{d_{тк}}{d_c}\cos\alpha),$$

де $d_{тк}$ — діаметр тіла кочення;

$d_c = \frac{1}{2}(d_з + d_в)$ — діаметр сепаратора;

$d_з$ — діаметр зовнішнього кільця;

$d_в$ — діаметр внутрішнього кільця;

α — кут контакту тіл і доріжок кочення;

- частота перекочування тіл кочення по зовнішньому кільцю

$$f_з = \frac{1}{2} f_{вр}(1 - \frac{d_{тк}}{d_c}\cos\alpha) \cdot z = f_c \cdot z,$$

де z — число тіл кочення;

- частота перекочування тіл кочення по внутрішньому кільцю

$$f_в = \frac{1}{2} f_{вр}(1 - \frac{d_{тк}}{d_c}\cos\alpha) \cdot z = (f_{вр} - f_c) \cdot z;$$

- частота обертання тіла кочення відносно поверхні кілець

$$f_{тк} = \frac{1}{2} f_{вр} \frac{d_c}{d_{тк}} (1 - \frac{d^2_{тк}}{d^2_c}\cos^2\alpha)$$

Для отримання вірогідних результатів вимірювання і діагностування необхідно обов'язково витримати правила вибору точок контролю вібрації і діагностичних ознак.

Приклади вибору можливих точок кріплення датчика віброприскорення (акселерометра) показані на рис. 5.11. Тут розглядаються чотири можливі випадки кріплення датчика.

В першому випадку (рис. 5.11, а) конструкція підшипникового вузла виконана монолітно з однаковою товщиною корпусу і без ребер жорсткості. Кращий варіант контролю для цього випадку в точках 1 і 2, але можливий контроль і по іншим точкам.

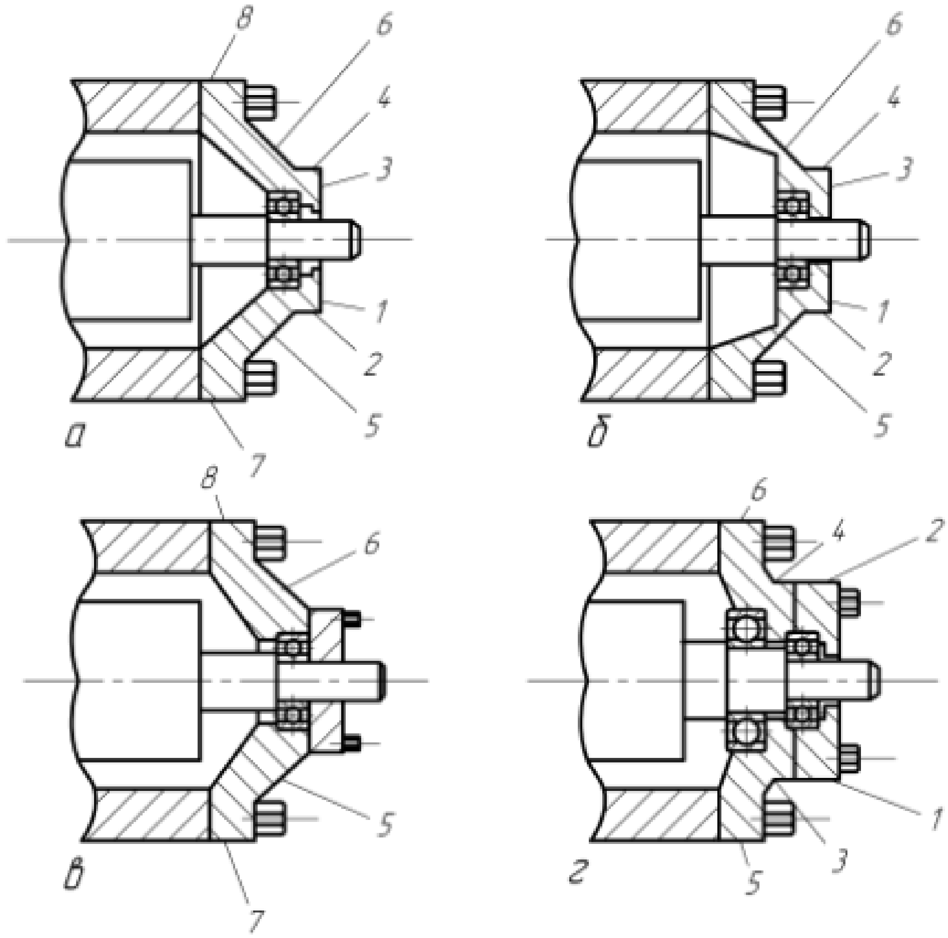


Рисунок 5.11

Приклади вибору точок контролю вібрації на підшипникових щитках

В другому випадку (рис.5.11, б) товщина корпусу підшипникового щита неоднорідна, внаслідок чого вібрація в районі точок 7 і 8 слабшає. Тому контроль в цих точках є недоцільним.

В третьому випадку (рис. 5.11, в) підшипниковий щит має кришки з різьбовим з’єднанням, що викликає невизначеність вібраційного стану в точках 1,2,3,4, тому заміри належить виконувати в точках 5,6,7,8.

В четвертому випадку (рис.5.11, г), коли на підшипникових вузлах установлюються спаровані підшипники, необхідно враховувати наступне, якщо посадкове місце є загальним, то використовується загальна точка контролю, а розподілення дефектного і бездефектного підшипників здійснюють за діагностичними параметрами. Останні можуть бути різними для різноманітних типів підшипників. Якщо ж підшипники мають посадкові місця на різних елементах, як це показано на рис. 5.11, г, то необхідно вибирати окремі точки контролю.

Існують також три вимоги до вибору точок контролю, якщо необхідно вимірювати спектр обвідної високочастотної випадкової вібрації без викривлення діагностичної інформації [2].

Перша вимога поєднана з необхідністю розподілення модельованих і не-модульованих складових вібрації і полягає у виборі відповідних смужок частот сигналу вібрації (відсутність інтенсивних гармонічних складових).

Друга вимога поєднана з першою і припускає, що у вибраній смузі частот немає не тільки гармонічних складових, але й високообертальних резонансів.

Третя вимога зводиться до того, щоб рівень високочастотної вібрації був порівняний з рівнем низькочастотної вібрації і перевищував рівень власних шумів приладу. Більш детально ці питання висвітлено в джерелі [2].

Приклади виявлення різних дефектів підшипників кочення наведено нижче.

Обкочування зовнішнього (нерухомого) кільця підшипника є саме по собі дефектом підшипника, що свідчить лише про режим роботи машин з підвищеним навантаженням на підшипник при обертанні, що зменшує ресурс останнього.

Діагностичною ознакою цього режиму роботи підшипника є поява в спектрі обвідної вібрації невеликої кількості (3–4) гармонічних складових вібрацій з частотами $kf_{вр}$, із яких максимальні амплітуди припадають на 1–3 гармоніки (рис. 5.12).

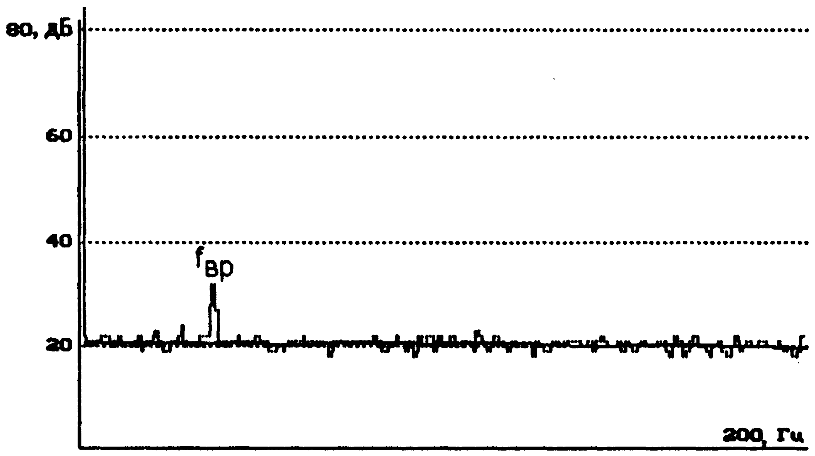


Рисунок 5.12

Приклад виявлення обкочування зовнішнього (нерухомого) кільця підшипника за спектром обвідної

Неоднорідний радіальний натяг є дефектом складання підшипника.

Діагностичною ознакою цього дефекту є зростання гармонічних складових в спектрі обвідної на парних і, насамперед, на другій гармоніці частоти обертання вала (рис. 5.13). Цей дефект супроводжується зростанням обертального навантаження в двох протилежних точках внутрішнього кільця і призводить до прискореного зносу підшипника.

Перекіс зовнішнього кільця виникає, зазвичай, при монтажі підшипника через дефекти посадкового місця. Цей дефект дає про себе знати відразу після монтажу, а його діагностичною ознако є зростання складових спектру обвідної на частотах $kf_{вр}$ і переважно при парних гармоніках k (особливо на другій гармоніці 2 $f_{Н}$) (рис. 5.14). Перекіс кільця призводить до прискореного зносу підшипника.

Знос зовнішнього кільця призводить до змінення коефіцієнта тертя на окремих ділянках кільця. Внаслідок цього явища з'являється плавна модуляція високочастотної вібрації частотою $f_{Н}$, а в спектрі обвідної вібрації зростають гармонічні складові на частотах $kf_{вр}$. При цьому найбільше зростання відбувається на першій гармоніці $f_{Н}$, а амплітуда кратних гармонік в спектрі обвідної швидко падає (рис. 5.15).

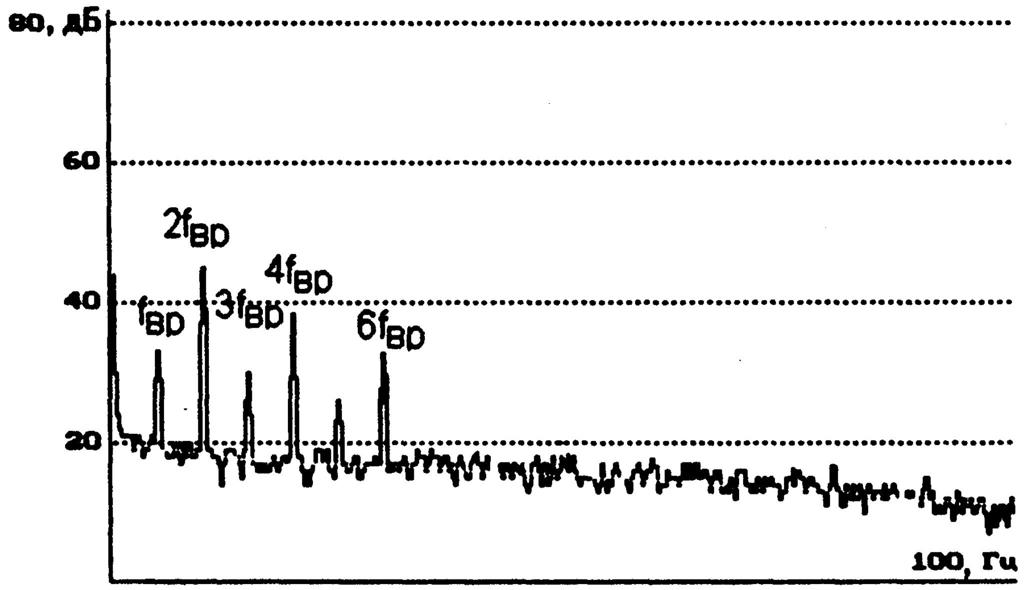


Рисунок 5.13

Приклад виявлення неоднорідного натягу підшипника за спектром обвідної

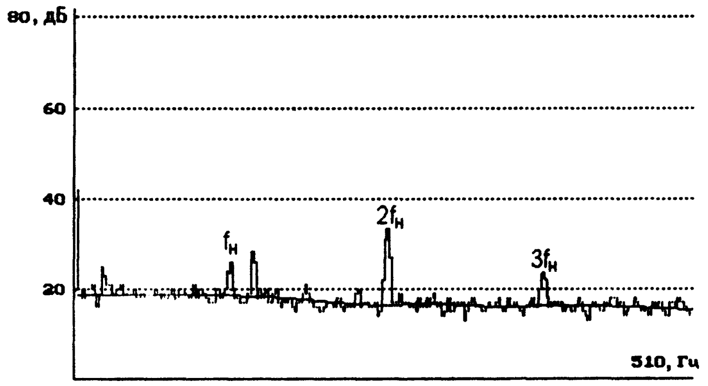


Рисунок 5.14

Приклад виявлення перекосу зовнішнього кільця підшипника за спектром обвідної

Якщо ж навантаження на підшипник змінює свій напрям (наприклад, обертається з частотою $f_{вр}$), то в складових спектру обвідної з частотами $kf_{вр}$ можуть з'явитись бокові складові, які відрізняються на частоти $\pm k_1 f_{вр}$.

В кінцевому підсумку знос кільця може призвести до утворення шпарин.

Шпарини, тріщини на зовнішньому кільці призводять до появи коротких уданих імпульсів при контакті кожного тіла кочення із шпариною (тріщіною). Внаслідок цього з'являється ряд гармонік з частотою $kf_{вр}$ в спектрі високо-частотної вібрації, а кількість цих гармонік достатньо велика при слабому їх зниженню при зростанні k (рис. 5.16).

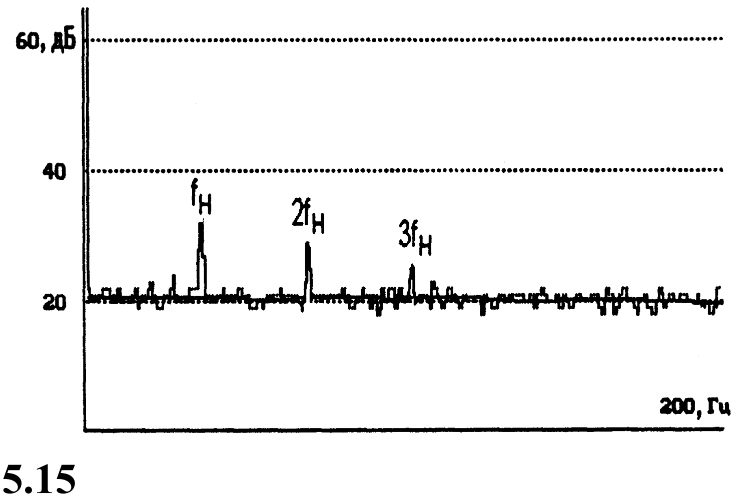


Рисунок 5.15

Приклад виявлення зносу зовнішнього кільця підшипника за спектром обвідної

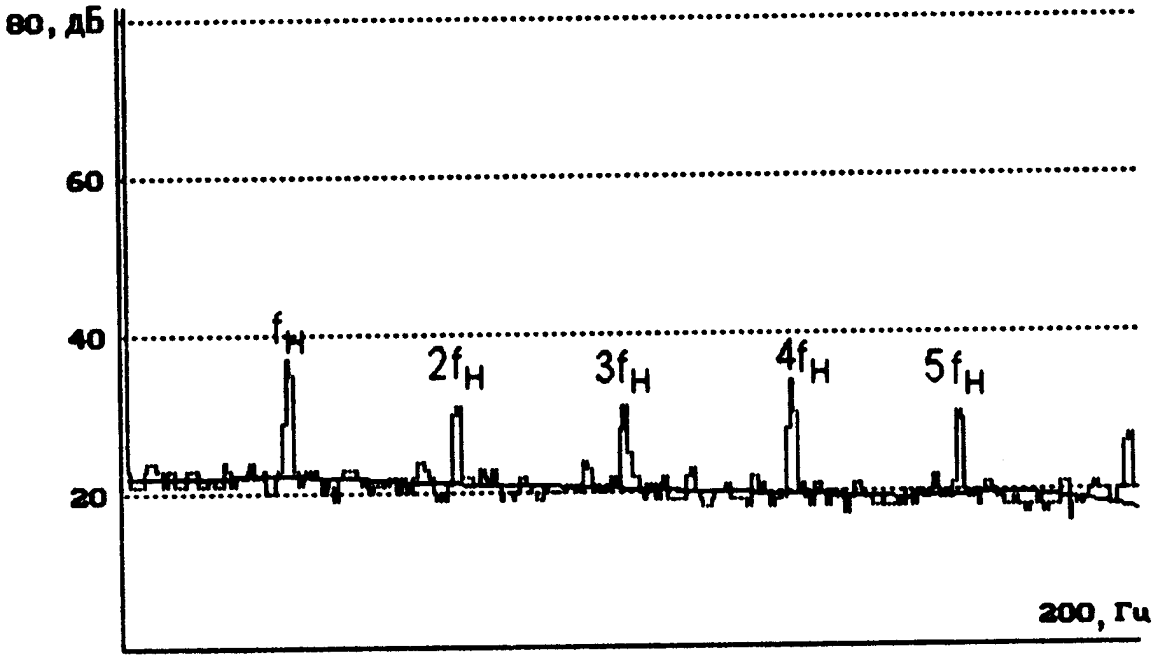


Рисунок 5.16

Приклад виявлення шпарин (тріщин) на зовнішньому кільці за спектром обвідної

Розподілити ознаки шпарин і тріщин дуже складно. Відмітною ознакою тріщин є лише те, що цей вид дефекту скоріше розвивається, що надає можливість встановити наступними вимірюваннями.

Знос внутрішнього кільця частіше всього відбувається локально, але зона підвищеного коефіцієнта тертя охоплює область, яка перевищує відстань між точками контакту найближчих двох тіл кочення, і модуляція сил тертя відбувається за частотою $f_{вр}$ сильніше, ніж з частотою $f_в$. Тому при діагностуванні внутрішнього кільця діагностичною ознакою є поява в спектрі обвідної ряду гармонік з частотами $kf_{вр}$. При зносі кільця частіше всього зростає і високочастотна вібрація, що є додатковою ознакою дефекту.

Шпарини (тріщини) на внутрішньому кільці призводять до появи коротких ударних імпульсів при контакті кожного тіла кочення із шпариною (тріщиною). При цьому в спектрі обвідної вібрації з'являється ряд гармонік з частотами $kf_{вр}$. Крім того, при слабкому радіальному натягу в підшипнику величина удару залежить від навантаження і, як наслідок, у ряда гармонік в спектрі обвідної з'являються бокові складові, що відрізняються на $\pm k_1 f_{вр}$. (рис. 5.17).

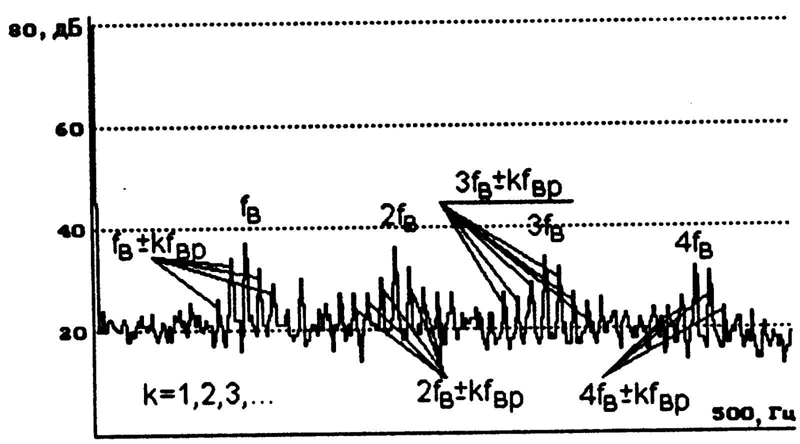


Рисунок 5.17

Приклад виявлення шпарин на внутрішньому кільці за спектром обвідної

Розпізнають шпарини і тріщини за побічними ознаками. Ознакою тріщини при цьому вважають одночасну появу великої кількості гармонік $kf_{\text{вр}} \pm k_1 f_{\text{вр}}$ з великою кількістю гармонік $kf_{\text{вр}}$, що виникають через збільшення радіуса внутрішнього кільця в зоні його розриву (рис. 5.18).

Знос тіл кочення і сепаратора має різні діагностичні ознаки. Ознакою зносу тіл кочення є поява в спектрі обвідної вібрації гармонічної складової з частотою $f_{\text{с}}$ (при статичному односторонньому навантажені на підшипник) чи $f_{\text{вр}} - f_{\text{с}}$ (при обертальному навантаженні). Складові з кратними гармоніками по мірі зростання кратності швидко зменшуються за амплітудою (рис. 5.19).

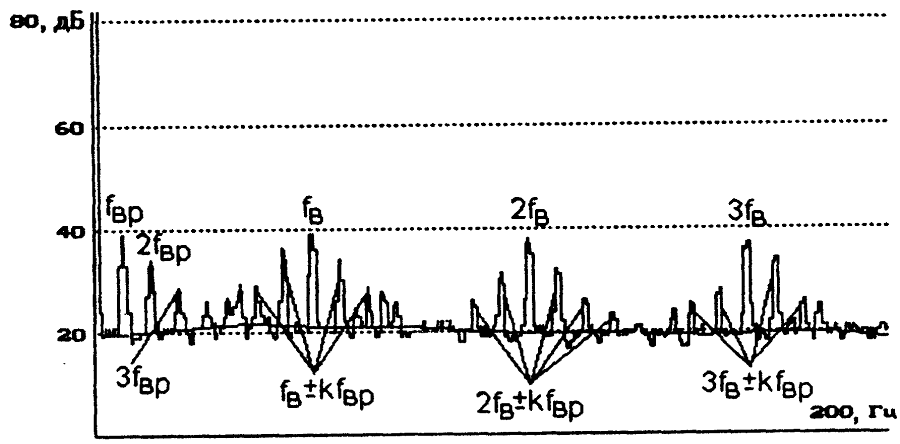


Рисунок 5.18

Приклад виявлення тріщин на внутрішньому кільці за спектром обвідної

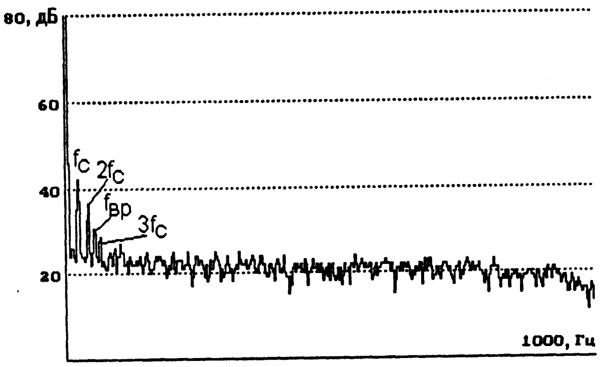


Рисунок 5.19

Приклад виявлення зносу тіл кочення і сепаратора за спектром обвідної

Ця ознака може слугувати і в якості побічної ознаки зносу ділянки сепаратора, яка контактує з дефектним тілом кочення. Для безпосереднього вимірювання величини зносу сепаратора можуть застосовуватись інші методи [2].

Шпарини, сколювання на тілах кочення супроводжуються появою і зростанням ударних імпульсів, що діють між тілом і кожною із поверхонь кілець, внаслідок чого основна частота ударів дорівнює $2f_H$. Але оскільки амплітуда ударних імпульсів при контакті з обома кільцями може різнитись і залежати від кута повороту сепаратора (від дії навантаження), то спектр обвідної вібрації буде мати ряд складових з частотами $k_1 \cdot f_{TK} \pm k_2 f_C$, а амплітуди складових з парними k_1 більші, ніж з непарними (рис. 5.20).

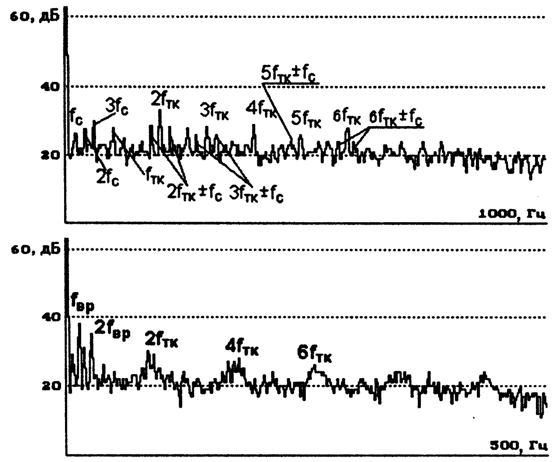


Рисунок 5.20

Приклад виявлення шпарин і сколювань на тілах кочення підшипників за спектром обвідної

Проковзування кільця в посадковому місці підшипника може виявлятись лише у тих випадках, якщо воно відбувається в момент вимірювання вібрацій. Сам факт наявності проковзування може свідчити про те, що підшипник заклинило і сепаратор не обертається відносно кілець підшипника. Діагностичною ознакою цього явища є зростання високочастотної вібрації і удару з частотами $kf_{вр}$, причому, удари з іншими частотами відсутні (рис. 5.21).

Дефект є дуже небезпечним і вимагає негайної зупинки і заміни підшипника (але його складно відрізнити від дефектів інших вузлів машини і муфт, зубчастих передач і інше).

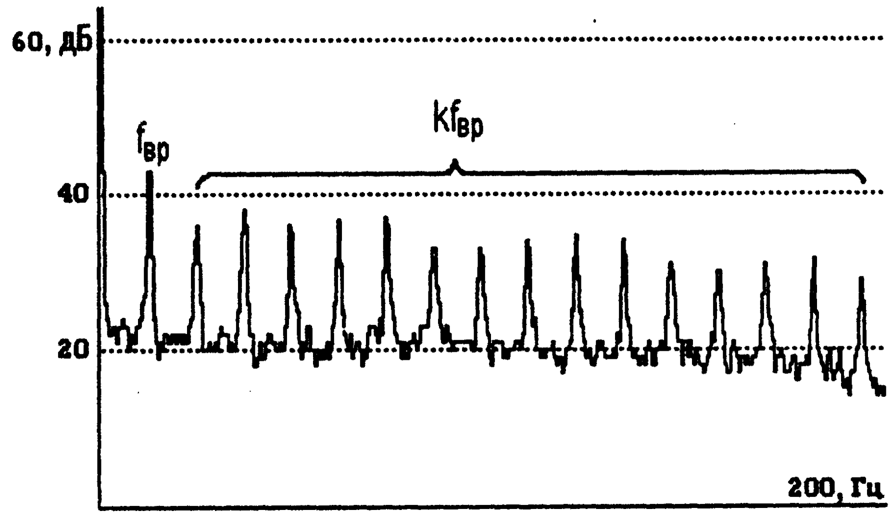


Рисунок 5.21

Приклад виявлення проковзування зовнішнього кільця за спектром обвідної

Дефекти змащування призводять до зростання високочастотної вібрації підшипника, що і є їх основною діагностичною ознакою. Причому, якщо цей дефект є єдиним, то в спектрі обвідної вібрації будуть відсутні середні і сильні дефекти інших типів.

Складний (збірний) дефект підшипника містить в собі діагностичні ознаки появи і більше розвинених дефектів для тих випадків, коли їх ознаки розглядаються не незалежно, а призводять до появи в спектрі гармонік з різними комбінаційними системами. Такі ознаки, зазвичай, з’являються при шпаринах на зовнішньому кільці, при сильному зносі останнього і обертальному навантаженні на підшипник, при автоколиваннях ротора з одночасним сильним зносом кілець, при наявності шпарин на зовнішньому і внутрішньому кільцях і

додатковому осьовому зусиллі на підшипник. В цю групу дефектів зведено ознаки складних дефектів, які з’являються достатньо рідко, але їх поява дає додаткову інформацію про те, що кількість розвинених дефектів в підшипнику більше 1.

2.5. Діагностика редукторів

В автоматичному діагностуванні машин роторного типу, в тому числі і редукторів, одним із світових лідерів є «АО ВАСТ» (Росія, Санкт-Петербург), розробки якого супроводжуються високоякісними методичними матеріалами. Ця методика діагностування описана і в роботі [2].

Тому вважається за доцільне привести ці матеріали без суттєвої переробки (в методичному плані виписки із методики діагностування вузлів роторних механізмів, що використовуються в діагностичних комплексах, які поставляються «ООО ВАСТ Санкт-Петербург»).

2.5.1. Вплив дефектів на вібрацію редуктора

Основними вузлами редуктора, що зазнають динамічних навантажень і піддаються зносу, є шестерні, підшипники і муфти, які поєднують редуктор з іншими об’єктами. Дефекти шестерней і зубчастих зачеплень призводять до появи вимушених сил різної природи. Це можуть бути кінематичні сили через відхилення форми зубців від розрахункової в зоні механічного контакту, ударні дії, що визначаються зміненням зазорів в зоні зубчастого зачеплення, параметричні сили через змінення жорсткості зубців в зоні зачеплення, а також сили тертя між контактуючими поверхнями.

Практично всі основні види дефектів шестерен і зубчастих зачеплень, що впливають на ресурс останніх, приводять до змінення коливальних сил, які діють в зачепленні, і динамічних навантажень на шестерні і їх підшипники. Це свідчить про те, що такі дефекти можуть бути виявленими за параметрами вібрації редукторів.

В перелік дефектів шестерней і зубчастих зачеплень, що виникають при складанні, монтажі і експлуатації входять:

- биття шестерні;
- знос зубців шестерні;
- тріщини і сколювання на зубцях, відсутність окремих зубців;
- зміщення точок контакту зубців;
- дефекти змащування поверхонь тертя.

Другий і третій дефекти, як правило, співпадають за видом впливу на вібрацію, а різниця між ними визначається лише глибиною цього впливу.

Оскільки в склад редуктора входять не менше двох шестерней, то перші три дефекти можуть виникати на будь-якій шестерні і збурювати вібрацію на різних частотах, Частоти вібрації збурювання залежать і від того, чи нерухома вісь обертання шестерні відносно корпусу редуктора, чи вона переміщається в просторі (як це властиво планетарним редукторам).

На рис. 5.22 наведена найпростіша схема двоступінчастого редуктора, в якому осі шестерней нерухомі, а на кожній осі установлені одна, або дві шестерні.

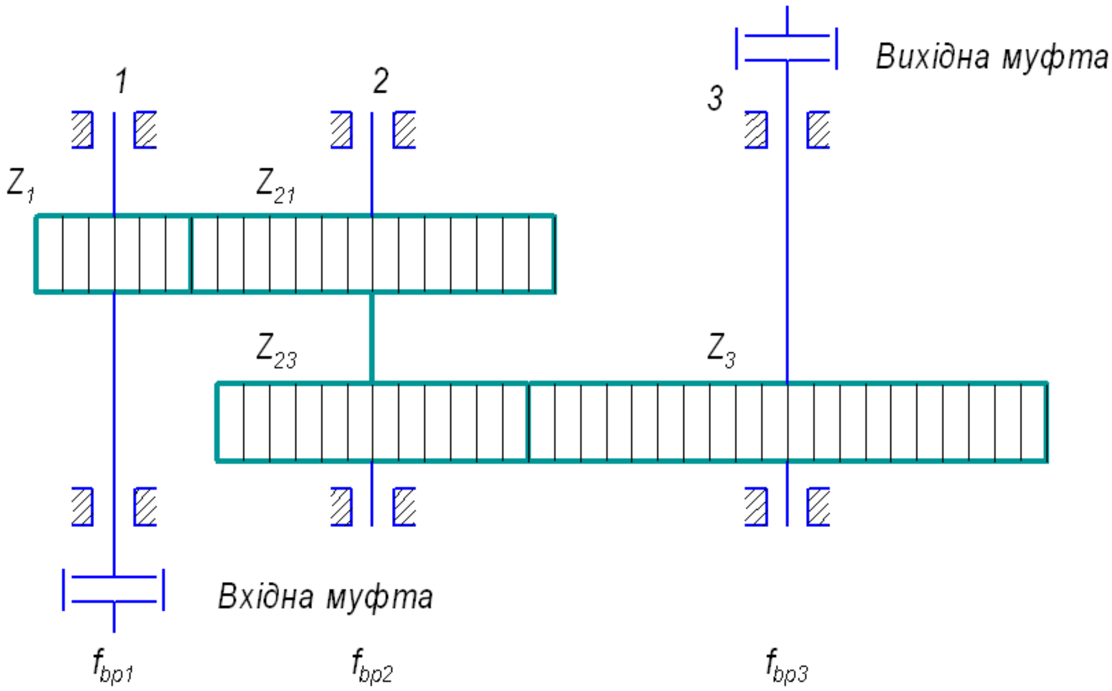


Рисунок 5.22
Схема двоступінчастого циліндричного редуктора

Частоти обертання осей визначаються за наступними формулами:

$$f_{вр2} = f_{вр1}(z_1/z_{21}),$$

$$f_{вр3} = f_{вр2}(z_{23}/z_3) = f_{вр1}(z_1 \cdot z_{23}/z_{21} \cdot z_3), \qquad (5.1)$$

де $f_{вр1}$, $f_{вр2}$, $f_{вр3}$ — частоти обертання першої, другої і третьої осей редуктора відповідно;

z_1, z_3 — число зубців на шестернях першої і третьої осей редуктора;

z_{21} — число зубців на шестерні другої осі редуктора, що перебуває в зачепленні з шестернею першої осі;

z_{23} — число зубців на шестерні другої осі редуктора, що перебуває в зачеплені з шестернею третьої осі.

Для визначення частот примусових сил і вібрації шестерен необхідно визначити ще частоти зубців. На приведеному рисунку редуктора їх дві за числом ступенів:

$$f_{z1} = f_{вр1} \cdot z_1 = f_{вр2} \cdot z_{21},$$

$$f_{z2} = f_{вр2} \cdot z_2 = f_{вр3} \cdot z_3 = f_{вр1}(z_1 \cdot z_{23}/z_{21}), \qquad (5.2)$$

де f_{z1} — частота зубців першого ступеня редуктора;
f_{z2} — частота зубців другого ступеня редуктора.

Подібним чином складається схема редуктора з будь-якого кількістю ступенів. Якщо будь-який із проміжних ступенів змінює лише напрямок обертання і на її *i*-ої осі установлена одна шестерня, то у виразах (5.1) і (5.2) для цієї осі $z_{i,i-1}$ і $z_{i,i+1}$ вважаються однаковими і рівними числу її зубців.

Головною відмінністю впливу дефектів шестерней і зачеплень на вібрацію є той факт, що цей вплив відбивається практично на всіх вузлах редуктора. Оскільки мінімальне значення частоти обертання зубчастих колес і максимальне значення частот зубців можуть відрізнятись на декілька порядків, з’являються проблеми, що поєднані з обмеженим числом частотних смуг аналізатора спектра (400, 800 чи 1600 Гц), яких не достає для діагностичних вимірювань у всьому діапазоні частот складових вібрації. Останні спричиняються дефектами шестерней редуктора. Тому виникає необхідність в деяких точках вимірювати вібрацію, в двох різних смугах частот і погоджувати результати діагностування, які отримані за даними вимірювань в кожній з них.

Вплив дефектів шестерней редукторів на їх вібрацію належить розглянути окремо для редуктора з нерухомими в просторі осями шестерней і з шестернями, осі яких переміщуються в просторі (планетарні редуктори). В даному посібнику розглядаються лише редуктори першого виду. З методологією діагностування другого типу можна ознайомитись в роботі [2].

Особливістю будь-якого зубчастого зачеплення є дія на нього постійного навантаження, що передається через редуктор, і динамічного навантаження при вході і виході із зачеплення кожного зубця шестерні. Частота ударів дорівнює частоті зубців, а амплітуда і форма кожного удару може різнитись. Ця різниця зростає в міру зносу зубців, появи в них тріщин і, тим більш, при відсутності будь-яких частин зубця. Якщо, наприклад, величина і форма ударів для всіх зубців, крім одного, однакові, то це еквівалентно появи одного разу за оберт шестерні додаткового удару, частіше «негативного» і тоді, крім ряду гармонік вібрації частоти зубців, з'являється ряд гармонік вібрації на частотах кратних частоті обертання шестерні.

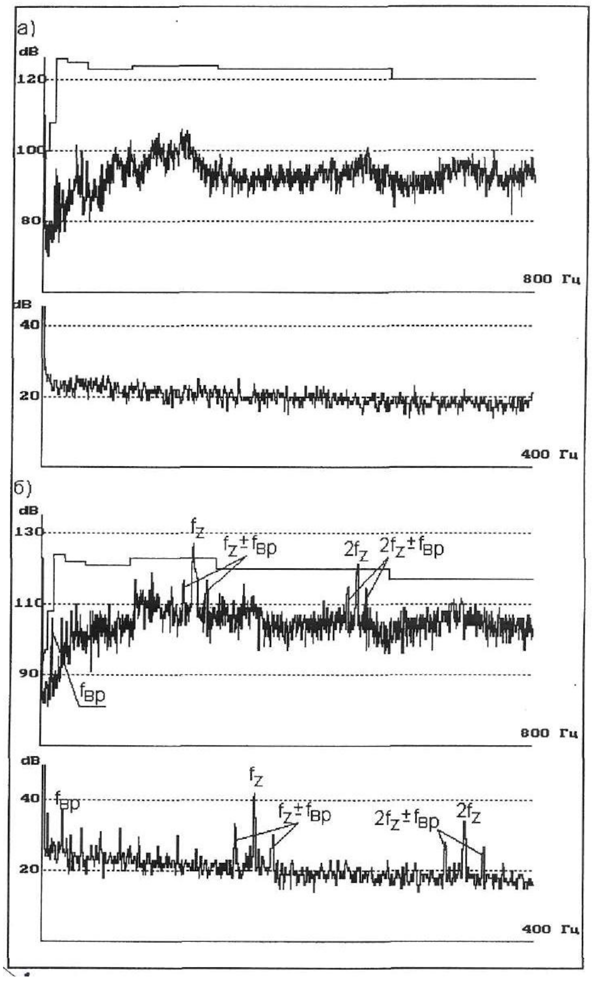
Таким чином, при появі дефектів змінюється форма або всіх, або частини ударних імпульсів, які виникають при вході зубців в зачеплення. Одною із основних причин ударів є динамічне навантаження на шестерню при вході зубців в зачеплення. Якщо тільки це навантаження порівняне за величиною зі статичним навантаженням, воно впливає і на сили тертя в підшипнику цієї шестерні. Отже, крім змінень в спектрі вібрації редуктора, при появі дефектів шестерні можливі змінення і в спектрі обвідної випадкової вібрації підшипників цієї шестерні.

Розглянемо, як може впливати на вібрацію редуктора і її обвідної кожний із вказаних видів дефектів, що виникають при монтажі чи експлуатації редуктора.

Биття вала (шестерні) — перший серед цих дефектів, під яким розуміється неправильна посадка шестерні на вал чи непаралельність шестерней, що входять в зачеплення, через які площа контакту зубців залежить від кута повороту шестерні з даним дефектом. Серед основних причин появи цього дефекту при монтажі можна відмітити невідповідність діаметрів посадкового отвору шестерні і діаметра вала, яке призводить або до зміщення осей шестерні і вала, або до перекосу шестерні. Крім того, в процесі експлуатації при появі перевантажень

редуктора може деформуватись вал. Дія биття вала на вібрацію полягає в плавному зміненні величини ударних імпульсів при вході зубців в зачеплення з частотою обертання дефектної шестерні. Внаслідок цього вібрація на частоті зубців приймає амплітудну модуляцію і в її спектрі у складовій частоти зубців з'являються бокові складові, які відстають на частоту обертання шестерні. Бокові складові, що відстають на подвійну частоту обертання, виявляються значно меншими, ніж це показано на рис. 5.23.

В цьому випадку, якщо має місце сильна деформація вала, і при певному куті повороту шестерні зубців, що входять в зачеплення, різко збільшується радіальне навантаження на осі обох шестерней, зростають сили тертя в підшипниках і в спектрі обвідної високочастотної вібрації двох шестерней з'являються складові з частотою обертання дефектної шестерні.

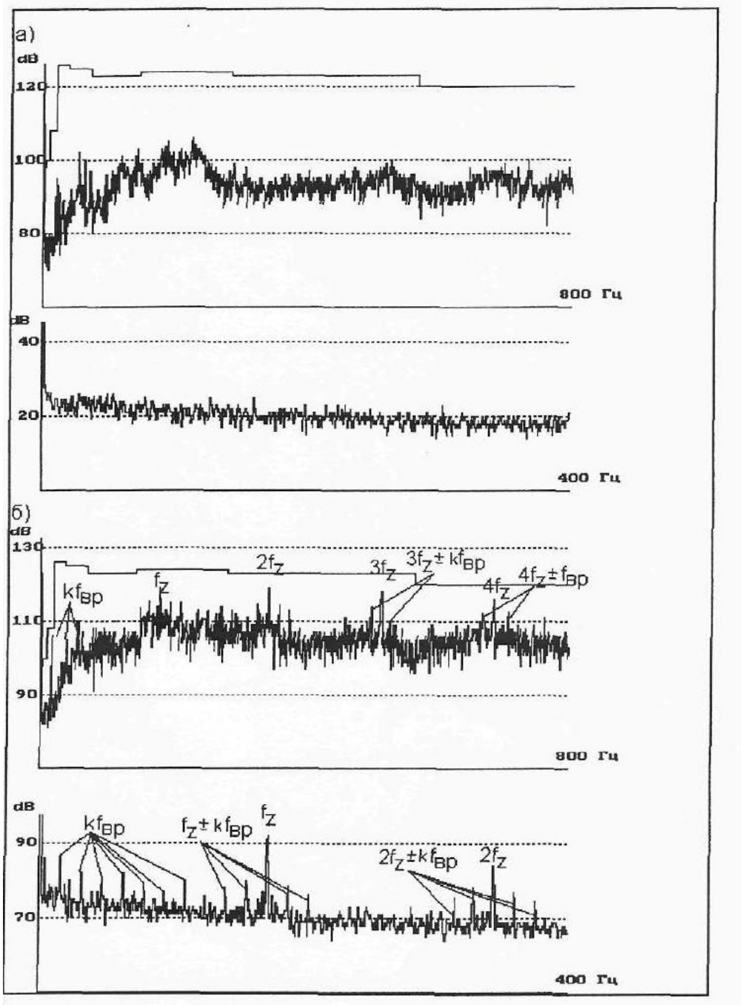


а — бездефектний редуктор;
б — редуктор з биттям ведучої шестерні.

Рисунок 5.23
Спектри вібрації підшипника редуктора і її обвідної при битті вала (шестерні)

Дефекти шестерні — неоднорідний знос зубців, тріщини і сколювання на них, відсутність окремих зубців. При неоднорідному зносі виникають зони шестерні з підвищеним зносом. Внаслідок цього, при попаданні зубців даної зони в зачеплення, удари при вході кожного зубця будуть різними, але їх величина різко зростає чи падає в порівнянні з ударами при вході в зачеплення зубців без зносу. Приблизно така ж ситуація виникає і тоді, коли в зубці є тріщина чи зубець відсутній. Таким чином, вібрація зубців приймає амплітудну модуляцію з періодом, який визначається частотою обертання дефектної шестерні, але вже не плавну, як при битті шестерні, а стрибкоподібну, і

в спектрі вібрації гармонік зубців з'являється велика група бокових складових, що відстають від центральної на $kf_{\text{вр}}$, як це вказано на рис. 5.24.

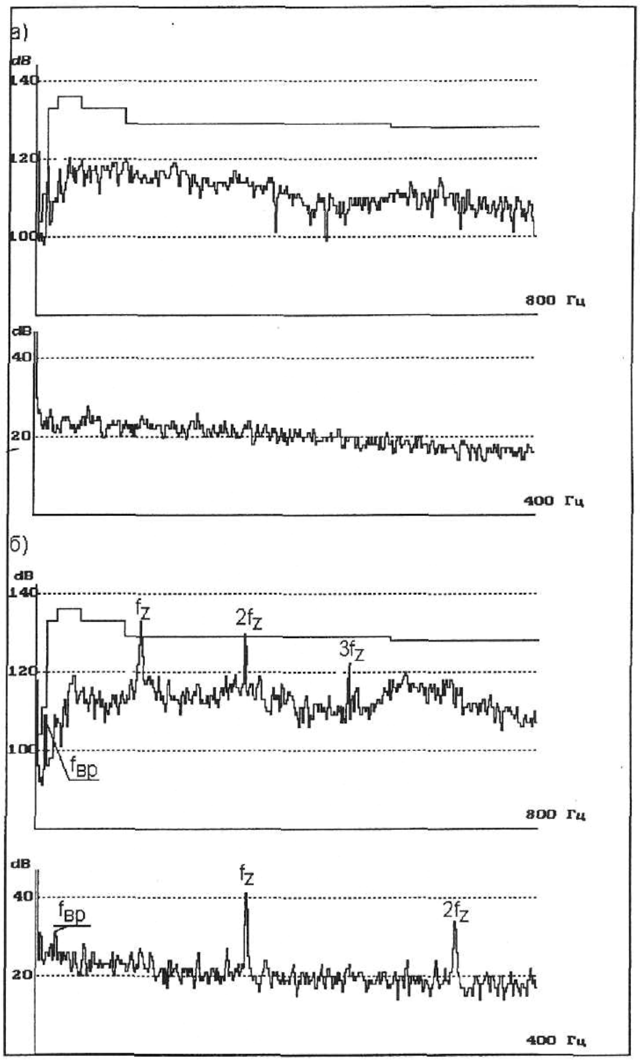


а — бездефектний підшипник;
б — редуктор з відсутнім зубом

Рисунок 5.24
Спектри вібрації підшипника редуктора і її обвідної при відсутності одного зуба

При зносі зубців чи тріщині в одному з них з цим же періодом стрибкоподібно змінюється навантаження на підшипники. Тому в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипників з'явиться група складових з частотами, що кратні частоті обертання дефектної шестерні.

Дефекти зачеплення мають загальну ознаку — зміщення точок контакту зубців відносно розрахункової. Причиною цього є, наприклад зміщення шестерней одної відносно другої поздовж осей обертання, в площині обертання шестерней або під кутом. Найбільш часто ці види дефектів з'являються при складанні редуктора, але можуть з'явитись і під час експлуатації (частіше через знос підшипника, внаслідок чого осі шестерней зміщуються). Внаслідок цього зона контакту відрізняється від розрахункової і динамічні сили, що діють на зубці, зростають. В зв'язку з цим зростає рівень гармонік вібрації зубців, але не зростають бокові складові з частотою обертання будь-якої із шестерней (рис. 5.25). На спектрі обвідної вібрації підшипників такий дефект не може з'явитись.



а — бездефектний редуктор;
б — редуктор з дефектом зчеплення шестерней

Рисунок 5.25
Спектри вібрації підшипника редуктора і її обвідної при дефектах зчеплення

Дефекти змащування — остання група дефектів приводить до порушення умов змащування зубців в зоні зачеплення. Така група дефектів за своєю дією на вібрацію редуктора слабко відрізняється від попередньої, а, отже, супроводжується зростанням гармонік вібрації зубців. Іноді ці дві групи дефектів вдається розрізняти за відношенням амплітуд перших трьох гармонік вібрації зубців. При дефектах змащування друга і третя гармоніки зростають зазвичай значно повільніше, ніж перша, і, якщо відсутні резонанси на цих гармоніках, вони слабко вирізняються на тлі інших складових вібрації редуктора.

Останні двоє дефектів можуть не приводити до появи динамічних навантажень на підшипники, і в спектрі обвідної випадкової вібрації підшипників може не бути гармонік зубців.

Виконаний аналіз впливу дефектів шестерней і зачеплень на вібрацію показує на те, що виявити ці дефекти можливо за зростанням рівней відповідних складових спектра вібрації редуктора.

Більшість із дефектів можна виявити і за появою амплітудної модуляції випадкової вібрації підшипників. Належить відмітити, що обмежуватись вимірюваннями спектрів низькочастотної і середньочастотної вібрації редукторів і їх підшипників при виявленні дефектів неможливо, оскільки в будь-якій точці контролю на вібрацію впли-

вають дефекти всіх шестерней і підшипників редуктора, що ускладнює їх ідентифікацію. В той же час на параметри модуляції випадкової вібрації кожного підшипника впливають тільки його дефекти і дефекти двох-трьох найближчих до цієї точки шестерней.

2.5.2. Вибір точок контролю вібрації і діагностичних ознак

Динамічні сили, що виникають в редукторах при наявності дефектів, передаються на корпус, головним чином, через підшипники шестерней. Тому підшипники є тими вузлами редукторів, вібрація яких змінюється при дефектах шестерней, валів, муфт і власне підшипників. Таким чином, точки контролю вібрації редуктора рекомендується вибирати на корпусі підшипникових вузлів по одній на кожному вузлі [2].

При цьому вкрай важливо правильно вибрати напрям вимірювання вібрацій. В одноступінчастих редукторах рекомендується вібрацію вимірювати в радіальному до осей обертання шестерней напрямку і в площині, що проходить через ці осі. Проблеми у виборі направлення виникають в багатоступеневих редукторів, в яких осі шестерней не перебувають в одній площині, і в кутових редукторах, в яких осі шестерней розташовуються під кутом одна до іншої. В цьому випадку рекомендується мінімізувати кути між напрямками вимірювань і передачі статичного навантаження.

В якості прикладу на рис. 5.26 показано кращі напрямки вимірювань вібрації у багатоступеневих редукторах.

Відмічається, що при діагностуванні редукторів за спектром обвідної вібрації їх підшипників основні ознаки дефектів належить визначати параметрами високочастотної вібрації підшипника, а для їх визначення вибір напрямків вимірювання вібрації не є дуже важливим [2]. Значно важливішим тут є вибір точок установлення датчиків вібрації, до яких високочастотна вібрація має доходити з мінімальними втратами.

При діагностуванні редукторів за спектром низькочастотної вібрації напрямки вимірювань належить вибирати перпендикулярно осі обертання і зустрічно до напрямку прикладання навантаження.

Ще одна рекомендація до вибору точок вимірювань вібрацій редуктора стосується вибору реперних точок, за якими здійснюється моніторинг його стану. Оскільки при деяких дефектах шестерней може виникати їх вібрація в осьовому напрямку, але вона не використовується при глибокій діагностиці вузлів редуктора, рекомендується хоча б одну із реперних точок вибирати таким чином, щоб напрямок вимірювань дозволяв виявлення зростання рівня осьової вібрації будь-якої із шестерней редуктора.

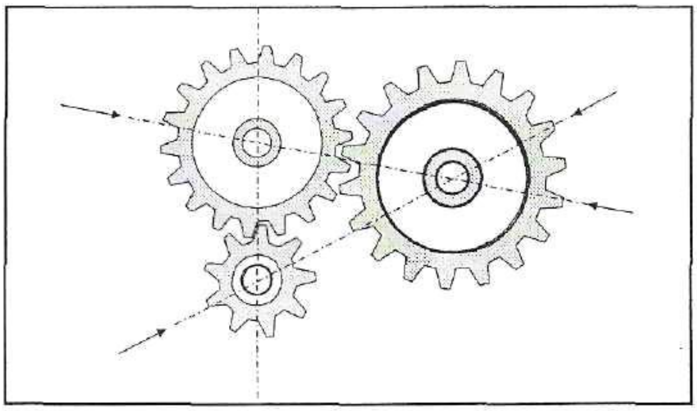


Рисунок 5.26
Кращі напрями вимірювання вібрацій

Для того, щоб не спотворювати результати діагностування за спектром обвідної, смугу частот фільтра детектора обвідної рекомендовано вибирати в діапазоні п'ятої гармоніки, що є максимальною серед частот зубців редуктора. Але на таких високих частотах випадкова вібрація підшипника може бути настільки слабкою, що виявиться низчою за власні шуми вимірювальної апаратури. Тому необхідно вибирати точки вимірювання вібрацій таким чином, щоб сигнал в смузі фільтра не мав явних гармонічних складових, був вищим на тлі апаратури і у відсотковому відношенні його рівень був не меншим одного відсотка від рівня максимальної складової спектра вібрації редуктора.

Розглянемо список дефектів, які можливі за вібрацією підшипникових вузлів редуктора. Першу групу дефектів відносять до дефектів шестерней, тобто їх зубців, валів і зубчастих зачеплень. Вона містить наступні дефекти:

- биття вала (шестерні);
- дефекти зубців великої шестерні;
- дефекти зубців малої шестерні;
- дефекти зачеплення великої шестерні;
- дефекти зачеплення малої шестерні;
- дефекти шестерней і зачеплень на інших осях редукторів.

Другу групу дефектів відносять до підшипників ковзання, якщо вони установлені на осі редуктора, що підлягає діагностуванню. Вона містить наступні дефекти:

- знос підшипника;
- удари в підшипнику;
- дефекти змащування.

Третя група дефектів поєднана з підшипниками кочення, якщо вони установлені на осі редуктора, що підлягає діагностуванню. Вона містить наступні дефекти:

- знос зовнішнього (нерухомого) кільця;
- шпарини, тріщини на зовнішньому кільці;
- знос внутрішнього (обертального) кільця;
- шпарини, тріщини на внутрішньому кільці;
- дефекти тіл кочення і сепаратора;
- дефекти змащування.

Із останніх двох списків виходить, що вони є значно меншими, ніж списки дефектів підшипників тих машин, де відсутні зубчасті передачі. Це спричинено тим, що останні дефекти не завжди можуть бути розділеними за діагностичними ознаками з перерахованими дефектами шестерней, і тому вони поєднані з іншими видами дефектів в загальні групи.

Четверта група дефектів поєднана з муфтами, якщо вони розташовуються на осі діагностування. Всі дефекти муфти поєднують в одну групу, що називається «дефектом муфти». Ці дефекти входять до списку лише для тих осей редуктора, на яких вони установлені.

Далі розглядаються основні і додаткові ознаки, які використовуються в діагностичних програмах для виявлення і ідентифікації перерахованих дефектів редукторів з нерухомими в просторі осями шестерней.

Биття вала (шестерні) найпростіше виявити за спектром обвідної вібрації підшипників, в якому (тобто в спектрі) з'являються гармонічні складові з частотами $f_{вр}$ чи $kf_{вр}$ вала (шестерні), що підлягає діагностуванню. Додатковими ознаками цього дефекту, які використовуються для його виявлення за спектром вібрації і для визначення величини дефекту, є зростання вібрації редуктора на бокових частотах $kf_2 + f_{вр}$, де $f_{вр}$ — частота обертання дефектної шестерні.

Дефекти зубців шестерней надійно виявляються за ударними навантаженнями на осях двох шестерней, що входять в зачеплення. Частота цих ударних навантажень дорівнює частоті обертання дефектної шестерні. Якщо ці шестерні обертаються в підшипниках кочення, товщина мастильного шару в яких мала, то ударні навантаження призводять до появи модуляції сил тертя в підшипниках обох осей редуктора з частотою обертання дефектної шестерні і, тим самим, до появи ряду гармонік в спектрі обвідної вібрації підшипника. Число цих гармонік має бути більшим, причому гармоніки високої кратності до $k > 4$ не повинні бути значно слабкішими за гармоніки кратності $k < 4$. Вияснити, яка з двох шестерней осі діагностування має максимальний дефект зубців, можна двома шляхами. Перший полягає в контролі появи ударних навантажень на сусідні осі редуктора. Тут винувата в появі ударних навантажень та шестерня, яка входить в зачеплення з другою віссю, що зазнає динамічних навантажень з частотою обертання осі, яка підлягає діагностуванню. Другий шлях полягає в аналізі гармонік зубців вібрації, в яких при дефекті зубців шестерні, що входить в зачеплення, з'являється велика група бокових складових з відмінними частотами.

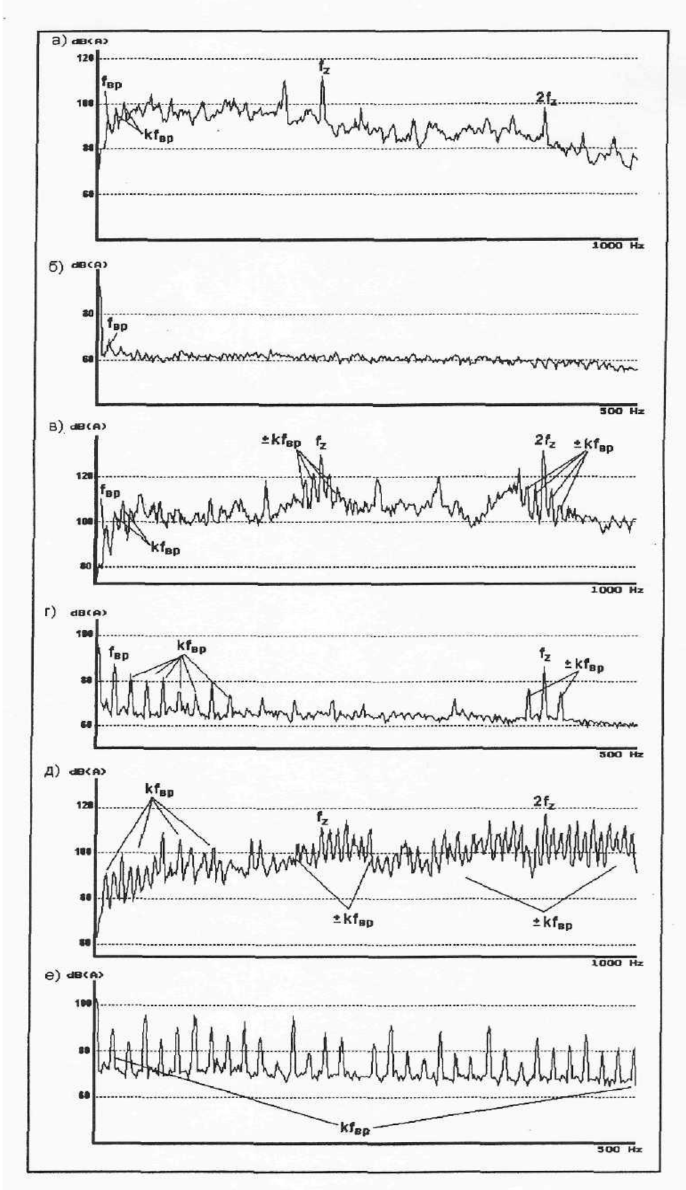
Проблеми з ідентифікацією дефектів зубців шестерень можуть виникнути в двох випадках.

Перший випадок — використання в редукторах підшипників ковзання з великою товщиною мастильного шару, коли навантаження на підшипник слабко змінює сили тертя і слабко моделює випадкову вібрацію підшипника. Основним шляхом ідентифікації виду дефекту і визначення його степеню розвитку є аналіз бокових складових вібрації зубців.

Другий випадок — наявність на осі діагностування муфти (особливо зубчастої). Дефекти цієї муфти також приводять до появи ударних навантажень на підшипники і зростанню низькочастотної вібрації на частотах $kf_{вр}$, проте вони практично не змінюють гармоніки вібрації зубців, а також її бокові складові.

На рис. 5.27 приведено спектри вібрації і обвідної її високочастотних складових для одного і того ж підшипника ковзання однакових типів редукторів з шестернями і муфтою без дефектів, з шестернею, що має дефект зубців, і муфтою з дефектом. Ці спектри ілюс-

труюють змінення, які використовуються в якості основних і додаткових ознак дефектів зубців шестерні і дефектів муфти.



а, б — бездефектний редуктор; в, г — редуктор з дефектом шестерні на першій осі; д,е — редуктор з дефектом зубчастої муфти на першій осі

Рисунок 5.27
Спектри вібрації з обвідною її високочастотних складових підшипникового вузла редуктора

Дефекти зачеплення шестерней — виявляють за зростанням складових вібрації зубців при кратності $k = 1, 2, 3$ в спектрі вібрації. Додатковою ознакою є поява складових вібрації зубців в спектрі обвідної високочастотної вібрації підшипника, які, проте, з’являються не у всіх випадках, коли є дефект зачеплення. Основна відмінність діагностичних ознак дефекту зачеплення від дефектів зубців шестерней полягає у відсутності у першому випадку помітного зростання на гармоніках частоти обертання шестерні і помітних бокових гармонік у складових вібрації зубців.

Дуже частим випадком є одночасна поява ознак дефектів зубчастого зачеплення і підшипника. Це добре відповідає найбільш час-

тому дефекту-зносу підшипника, внаслідок якого вісь обертання шестерней зміщується і, як наслідок, зміщуються точки контакту зубців в зачепленні.

Оскільки за результатами вимірювання спектрів вібрації і її обвідної в одній точці на корпусі підшипникового вузла необхідно ставити діагноз стану трьох частин редуктора, а саме вала з шестернями, підшипника і муфти, якщо остання розташована на осі вала діагностування, необхідно визначити зведені діагностичні ознаки дефектів всіх вузлів в спектрах вібрації і її обвідної. Ці ознаки для редукторів з підшипниками ковзання зведені в табл. 5.1, а для редукторів з підшипниками кочення — в табл. 5.2. В таблицях наведені тільки частоти тих складових спектрів, які з'являються чи зростають при появі (зростанні) розглянутих дефектів.

2.5.3. Вибір періодичності вимірювань, режимів роботи редукторів і порогових значень дефектів

Періодичність діагностичних вимірювань в діагностичних програмах визначає користувач, виходячи із наявної у нього інформації про швидкості розвитку дефектів від моменту виявлення (слабкий дефект) до передаварійного стану.

Досвід діагностування редукторів показує, що швидкість розвитку дефектів в значній мірі залежить від конструктивних особливостей редуктора, наявності в ньому дефектів виготовлення і складання, умов експлуатації, особливо від кількості пусків і стрибків навантаження в міжремонтний період. Але у більшості випадків швидкість розвитку дефектів підшипників редуктора вище швидкості дефектів шестерней, тому періодичність вимірювань має визначатись станом і швидкістю розвитку дефектів.

Рекомендується витримувати інтервал між вимірюваннями від одного до трьох місяців [2]. За аналогією діагностування підшипників при виявленні дефектів шестерней і зачеплень, якщо вони не перевищили поріг середнього, можна не змінювати інтервал між вимірюваннями. При середніх дефектах інтервал між вимірюваннями рекомендується скорочувати в 2 рази, при сильних — ще в три рази.

Таблиця 5.1

Частоти складових спектрів вібрації і її обвідної для виявлення і ідентифікації дефектів редукторів з нерухомими осями обертання зубчастих коліс в підшипниках ковзання

№ П/П	Вид дефектів	Спектр вібрації		Спектр обвідної	
		Основні	**Додаткові**	**Основні**	**Додаткові**
1	Биття вала (муфти)	$kf_{вр1}$	$kf_{z1} \pm f_{вр1}$ $kf_{z2} \pm f_{вр1}$ немає зростання ВЧ	$kf_{вр1}$	$kf_{z1} \pm f_{вр1}$ $kf_{z2} \pm f_{вр1}$ немає зростання ВЧ
2	Дефект великої шестерні	$kf_{вр1}$ $k>4$	$kf_{z1} \pm f_{вр1}$, $k>1$ немає зростання ВЧ	$kf_{вр1}$ $k>4$	$kf_{z1} \pm f_{вр1}$, $k>1$ немає зростання ВЧ
3	Дефект малої шестерні	$kf_{вр1}$ $k>4$	$kf_{z2} \pm f_{вр1}$, $k>1$ немає зростання ВЧ	$kf_{вр1}$ $k>4$	$kf_{z2} \pm f_{вр1}$, $k>1$ немає зростання ВЧ
4	Дефект зачеплення великої шестерні	kf_{z1}	немає зростання $kf_{вр1}$ немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{вр1}$, немає зростання *ВЧ*	kf_{z1}	немає $kf_{вр1}$ немає $kf_{z1} \pm k_1 f_{вр1}$, немає зростання ВЧ
5	Дефект зачеплення малої шестерні	kf_{z2}	немає зростання $kf_{вр1}$ немає $kf_{z2} \pm k_1 f_{вр1}$, немає зростання ВЧ	kf_{z2}	немає $kf_{вр1}$ немає $kf_{z2} \pm k_1 f_{вр1}$, немає зростання ВЧ
6	Дефекти на другій осі	$kf_{вр2}$, $kf_{вр3}$.... kf_{z3}, kf_{z4},.....	немає зростання ВЧ	$kf_{вр2}$, $kf_{вр3}$.... kf_{z3}, kf_{z4},.....	немає зростання ВЧ
7	*Знос підшипника*	$kf_{вр1}$	зростання ВЧ	$kf_{вр1}$, $k>7$ підйом спектра на *$НЧ_0$*	зростання ВЧ

Закінчення таблиці 5.1

№ П/П	Вид дефектів	Спектр вібрації		Спектр обвідної	
		Основні	**Додаткові**	**Основні**	**Додаткові**
8	*Удари в підшипнику*	$kf_{вр1}$	зростання ВЧ	$kf_{вр1}$, $k>7$	зростання ВЧ
9	*Дефекти змащування підшипника*	зростання ВЧ	немає зростання $kf_{вр1}$	зростання ВЧ	немає ліній в спектрі
10	*Неідентифіковані дефекти*	зростання інших гармонічних складових			

де, $f_{вр1}$ — частота обертання осі редуктора, що підлягає діагностуванню;
kf_{z3}, kf_{z4} — інші частоти зубців редуктора;
$kf_{вр2}$, $kf_{вр3}$ — частоти обертання інших осей редуктора;
ВЧ — високочастотні складові;
f_{z1} — частота зубців великої шестерні;
f_{z2} — частота зубців малої шестерні;
$НЧ_0$ — низькочастотні складові спектра обвідної;
$k = 1,2,3,\ldots;\ k_1 = 1,2,3,\ldots$.

Таблиця 5.2

Частоти складових спектрів вібрації і її обвідної для виявлення і ідентифікації дефектів редукторів з нерухомими осями обертання зубчастих коліс в підшипниках кочення

№ П/П	Вид дефектів	Спектр вібрації		Спектр обвідної	
		Основні	Додаткові	Основні	Додаткові
1	Биття вала (муфти)	$kf_{вр1}$	$kf_{z1}\pm f_{вр1}$, $kf_{z2}\pm f_{вр1}$, немає зростання ВЧ	$kf_{вр1}$	$kf_{z1}\pm f_{вр1}$, $kf_{z2}\pm f_{вр1}$, немає зростання ВЧ
2	Дефект великої шестерні	$kf_{вр1}$, $k>4$	$kf_{z1}\pm k_1 f_{вр1}, k_{1>1}$, немає зростання ВЧ	$kf_{вр1}$ $k>4$	$kf_{z1}\pm k_1 f_{вр1}, k_{1>1}$, немає зростання ВЧ
3	Дефект малої шестерні	$kf_{вр1}$, $k>4$	$kf_{z2}\pm k_1 f_{вр1}, k_{1>1}$, немає зростання ВЧ	$kf_{вр1}$ $k>4$	$kf_{z2}\pm k_1 f_{вр1}, k_{1>1}$, немає зростання ВЧ
4	Дефект зачеплення великої шестерні	kf_{z1}	немає зростання $kf_{вр1}$, немає $kf_{z1}\pm k_1 f_{вр1}$ немає зростання ВЧ	kf_{z1}	немає зростання $kf_{вр1}$, немає $kf_{z1}\pm k_1 f_{вр1}$ немає зростання ВЧ
5	Дефект зачеплення малої шестерні	kf_{z2}	немає зростання $kf_{вр2}$, немає $kf_{z1}\pm k_1 f_{вр1}$ немає зростання ВЧ	kf_{z2}	немає зростання $kf_{вр2}$, немає $kf_{z1}\pm k_1 f_{вр1}$ немає зростання ВЧ
6	Дефекти на другій осі	$kf_{вр2}$, $kf_{вр3}$.... kf_{z3}, kf_{z4},.....	немає зростання ВЧ	$kf_{вр2}$, $kf_{вр3}$.... kf_{z3}, kf_{z4},.....	немає зростання ВЧ
7	Знос зовнішнього кільця	$f_н$	зростання ВЧ	$f_н$	зростання ВЧ

Закінчення табл. 5.2

8	Шпарини на зовнішньому кільці	$kf_{н}$	зростання ВЧ	$kf_{н}$	зростання ВЧ
9	Знос внутрішнього кільця	$kf_{вр1}$	зростання ВЧ	$kf_{вр1}$	зростання ВЧ
10	Шпарини на внутрішньому кільці	$C_{в}$	зростання ВЧ	$kf_{в}$	зростання ВЧ
11	Дефекти тіл кочення і сепаратора	F_{c} чи $kf_{тк}$	зростання ВЧ	F_{c} чи $kf_{тк}$	зростання ВЧ
12	Дефекти змащування підшипника	зростання ВЧ	немає зростання $kf_{вр1}$, kf_{c} , $kf_{в}$, $kf_{н}$, $kf_{тк}$	зростання ВЧ	немає ліній в спектрі
13	Не ідентифіковані дефекти	зростання інших гармонічних складових			

де, $f_{вр1}$ — частота обертання осі редуктора, що підлягає діагностуванню;
$f_{вр2}$, $f_{вр3}$ — частоти обертання інших осей редуктора;
f_{z1} — частота зубців великої шестерні;
f_{z2} — частота зубців малої шестерні ;
f_{z3} , f_{z4} — інші частоти зубців редуктора;
f_{c} — частоти обертання тіл сепаратора;
$f_{н}$ — частота перекочування тіл кочення по зовнішньому кільцю;
$f_{в}$ — частота перекочування тіл кочення по внутрішнього кільцю
$f_{тк}$ — частота обертання тіл кочення;
ВЧ — високочастотні складові ;
$k = 1,2,3,\ldots;\ k_1 = 1,2,3,\ldots.$

Головною ж рекомендацією з вибору режиму роботи редуктора при діагностуванні є забезпечення однієї із всіх швидкостей обертання під час кожного із періодичних вимірювань вібрації і однакової величини навантаження. Значення частоти обертання у всіх випадках мають вкладатись в діапазон на рівні ± 10% від її середньої величини. При цьому стабільність частоти обертання під час одного вимірювання повинна бути не гірше 1%, в противному разі лінії в спектрах вібрації чи її обвідної „розмиваються“ і неможливо буде отримати вірогідні результати діагностування. Величина навантаження у всіх випадках також повинна витримуватись з точністю не гірше ± 20% від її середнього значення.

Особливо належить зупинитись на рекомендаціях стосовно вибору навантаження на редуктор під час діагностування. Краще над все, якщо величина і напрям навантаження будуть тими ж, при яких відбувається основний знос шестерней і підшипників, тобто номінальними. При інших навантаженнях можуть змінюватись напрями дії навантаження на підшипники і змінюватись контактні поверхні зубців, що може знизити вірогідність діагностування і прогнозування. Якщо ж неможливо забезпечити номінальне навантаження редуктора при діагностуванні, то бажано хоча б зберегти напрям дії навантаження на зубці шестерней. В цьому випадку буде забезпечена мінімальна ймовірність „удаваної тривоги“ при збереженні мінімальної вірогідності пропускання таких небезпечних дефектів як тріщини і сколювання на зубцях шестерней.

Всі порогові значення, що використовуються для виявлення, ідентифіка-ції виду і визначення глибини дефекту, задає користувач з урахуванням наявних статичних даних із діагностування редукторів з наступною їх візуальною дефектацією.

При діагностуванні редукторів по вузькосмуговому спектру вібрації задаються двоє порогових значень для кожного із діагностичних параметрів, один із яких визначає появу сильного дефекту, а інший — середнього. Порогові значення відраховуються від середнього значення параметра (середнього рівня складової спектру вібрації), що визначався за всима попередніми вимірюван-нями (не менше трьох). Із даних попередніх вимірювань автоматично усуваються похибки, які випадають за межі природнього розкиду випадкових величин (рівнів складових, що вимірюються в дБ віброприскорення). Величина

рекомендованого порогу сильного дефекту складає 20 дБ над середнім рівнем відповідної складової спектру. Рекомендоване значення порогів середнього дефекту в два рази менше і складає 10 дБ. Порівняльний аналіз різних алгоритмів діагностування машин за сигналом вібрації показує на те, що рекомендовані порогові значення відповідають загальноприйнятим значенням [2].

При діагностуванні багаторежимних машин оператор може встановити більш високі пороги. Якщо машина безперервно працює при відносно стабільних зовнішніх умовах (температура, волога і т. п.), а її частота обертання і навантаження не змінюються, то значення порогів допускається знижувати. Це дає можливість виявити слабкі дефекти на ранішній стадії їх розвитку.

При діагностуванні редукторів за спектром обвідної вібрації задаються трьома пороговими значеннями для кожного із видів дефектів за винятком дефектів змащування підшипників, для яких, як і в попередньому випадку, задаються пороги сильного і середнього дефектів.

Пороги визначаються у величинах глибини модуляції для всіх дефектів, крім дефекту змащування, для якого вони визначаються в прирощеннях загального рівня високочастотної вібрації, яка вимірюється в дБ віброприскорення.

2.5.4. Уточнювання результатів діагностування

При виявленні дефектів необхідно мати збірну інформацію про стан всіх вузлів машини для прийняття рішень стосовно її ремонту чи технічного обслуговування. В цьому випадку належить виводити інформацію про стан кожного вузла і скласти остаточний документ про стан машини в цілому. Тут необхідно мати уяву про типові ситуації, які можуть зустрічатись на практиці і до яких можна віднести:

1. Результати моніторингу вказують на змінення вібраційного стану, а результати діагностування не дають інформацію про дефекти у всіх вузлах машини. Тому належить визначити частоту тієї складової вібрації, зростання якої стало причиною виявлених змінень і за якою встановити, які вузли машини можуть бути джерелом цієї віб-

рації, а потім провести аналіз результатів автоматичного діагностування цих вузлів.

2. Результати моніторингу не вказують на змінення вібраційного стану машини, а результати діагностування дають суттєві дефекти окремих вузлів. Тут належить повторювати вимірювання і контролювати розвиток дефекту на протязі декількох днів до того часу, поки дані моніторингу також не вкажуть на змінення вібраційного стану машини.

3. Виявлені змінення вібраційного стану машини і дефекти в декількох підшипникових вузлах машини, що перебувають на одній лінії вала. В цьому випадку причиною можуть бути не всі підшипники, а лише один із значним дефектом, або дефекти інших деталей. В цьому випадку належить звертати увагу на результати діагностування інших вузлів машини за даними контролю вібрації в інших точках вимірів.

4. Виявлені неідентифіковані змінення вібраційного стану. Частіш причиною цього є вплив дефектів інших вузлів на вібрацію вузла, що діагностується. В цьому випадку належить проаналізувати результати діагностування інших вузлів машини і переглянути список складових вібрації, за якими поставлено діагнози у всіх точках контролю. Якщо неідентифікований дефект поставлено за тими складовими вібрації, за якими ідентифіковані дефекти іншого вузла, то причиною змінення вібрації частіш і є ці дефекти.

Більш детально питання щодо уточнювання результатів діагностування розглянуто в роботі [2].

3. ТЕПЛОВИЙ МОНІТОРИНГ І ДІГНОСТИКА

Цей вид моніторингу і діагностики отримав широке застосування в різних галузях промисловості (металургійній, гірничій, машинобудівній, хімічній і інших) і в різноманітних видах техніки (від самих простих до космічних апаратів).

Особливу роль тепловий моніторинг і діагностика відіграють при обстеженні крупних металургійних агрегатів, де при певних умовах можливе проривання великого об’єму рідких розплавів, що може, крім значних економічних втрат, викликати трагічні наслідки чи ж

дефекти футеровки можуть стати причиною невідновлюючого стану металоконструкцій і крупних руйнувань виконавчих механізмів. До таких об'єктів, насамперед, можна віднести конвертори, печі, міксери, ковші, машини напівнеперервного і неперервного розливання заготівок і т. п.

Тепловий моніторинг і діагностика достатньо ефективні, хоча, в окремих випадках поступаються вібраційним методам при обстеженні механічних з'єднань і передач з тертям, незадовільний стан яких проявляється в підвищенні їх температури.

Для вимірів температури застосовують спеціальні термометри, пірометри і тепловізори. Поряд з приладами, в деяких випадках, використовують технології на основі термоіндикаторних речовин.

ТЕРМОІНДИКАТОРНІ МЕТОДИ

Використання цих методів є вкрай ефективним в тих випадках, коли виникає необхідність у вивченні температурного поля обстежуваного об'єкта, тобто там, де головним показником стану об'єкта є не абсолютна температура, а характер її розподілення по поверхні. Наприклад, при доведеності вузлів і деталей, термообробці, визначенні перегріву обладнання, обстеженні кристалізаторів для металів і сплавів, вивченні стану футеровки пічних агрегатів і т.п.

В залежності від умов і цілей дослідження застосовують *кольорові, структурні і газовиділяючі термоіндикаторні речовини (ТІР)*. Візуалізацію температурних полів можуть забезпечити лише багатопозиційні КТІР, які мають декілька критичних температур в достатньо широкому температурному інтервалі, чи плавно змінюють свій колір в залежності від температури. В свою чергу, ці речовини поділяють на *зворотні, незворотні і квазизворотні*.

Зворотні використовують тоді, коли необхідно безпосередньо спостерігати температурне поле в процесі нагріву. Проте їх використання (за Аркеляном В.Г.) доцільне при температурах до 497–527°С, оскільки при більш високих температурах їх колір може маскуватись власним тепловим випромінюванням.

Незворотні і квазізворотні речовини використовують у випадках, коли необхідне обстеження температурних полів у важкодоступних місцях.

Термоіндикаторні речовини виготовляють понад 20 закордонних фірм. Проте, лише небагато з них є багатопозиційними.

ТЕРМОМЕТРИ

Серед різноманітних типів термометрів найбільшого поширення набули в сфері теплового моніторингу цифрові термометри, які дозволяють з високою точністю вимірювати температуру в широкому діапазоні (від –60° до + 3000°С).

В Україні провідним підприємством в сфері термоприладобудування є науково-виробниче об'єднання «Термоприлад» (Львів). Підприємство виготовляє стаціонарні і переносні термометри.

Стаціонарні (щитові) термометри працюють із сигналами термоперетворювачів опору, термоелектричних перетворювачів і джерел напруги і струму. До числа щитових приладів відноситься лише прилад ТО-ЦО23. Вимірюваний діапазон температур складає: –50°...+ 150 °С ; –200°...+ 600 °С ; –50°... + 1600 °С.

Переносні прилади виготовляються одноканальними і багатоканальними. Діапазон вимірюваних температур термометра ТО-ЦО24-10 складає: –80°...+ +250 °С. Роздільна здатність приладу — 0,01°–0,1 °С. В його комплект входить до десяти термоперетворювачів.

Портативний одноканальний цифровий термометр ТТ-ЦО16 розрахований на діапазон температур від –10 °С до + 1200 °С, а ТТ-ЦО16-01 — від –60 °С до + 200 °С.

Технічні характеристики термоперетворювачів цих приладів наведено в табл. 5.3.

Серед зарубіжних розробок широкого поширення набули цифрові термометри С.А861, С.А863, С.А865 (вир. CHAOVIN ARNOUX, Франція), ТМЦ 9210 (Росія), ЕТІ-2001 (Великобританія), Testo 905-Т1, Testo 905-Т2, Testo 925, Testo 935 (Німеччина).

Таблиця 5.3

Технічна характеристика тензоперетворювачів

Тип	Основні параметри (температура/розміри)	Призначення, середовище, об'єкт вимірювання
Т911-01	0…200 °С; довжина 160 мм	В'язкі речовини
Т911-03	–60…+600 °С; довжина 400 мм	Рідкі, сипкі, в'язкі речовини
Т911-04	0…800 °С; довжина 500 мм	Рідкі, сипкі речовини
Т912	50…500 °С	Металеві поверхні
Т919	–60…+500 °С; довжина 400 мм	Газоподібні речовини
Т921	20…200 °С; діаметр торкання 10 мм	Металеві поверхні
Т922	0…250 °С	Обертові металеві поверхні
Т-003	0…200 °С; довжина 60 мм	Напівтверді та гумові речовини
Т-930	0…180 °С; довжина 1000 мм	Багатошарові рельєфні матеріали

Застосування як вітчизняних, так і зарубіжних цифрових термометрів при обстеженні механічного обладнання доцільне лише у тих випадках, коли температурний фактор найбільш повно характеризує стан об'єкта, чи там, де основною задачею обстеження є вимір температур (наприклад, робочих середовищ гідросистем, охолоджувальних середовищ пічних агрегатів, реакторів і т. п.). Хоча, при використанні термоперетворювачів Т912 і Т921, можливе виявлення дефектів рухомих сполучень, оскільки більшість з них викликають підвищення температури через збільшення сил тертя.

ПІРОМЕТРИ

Ці прилади напротивагу цифровим і іншим типам термометрів, які побудовані на принципі контактних вимірювань, призначені для безконтактного вимірювання температур. Їх застосовують в різноманітних галузях промисловості, де температурний фактор є головним

чи важливим показником стану об'єкта чи середовища. В пірометрах використовують, зазвичай, високочутливі приймачі випромінювання, візуальне чи лазерне наведення на об'єкт.

Провідним виробником пірометрів в Україні є науково-виробниче об'єднання «Термоприлад», яке виготовляє стаціонарні і переносні пірометри (рис. 5.28).

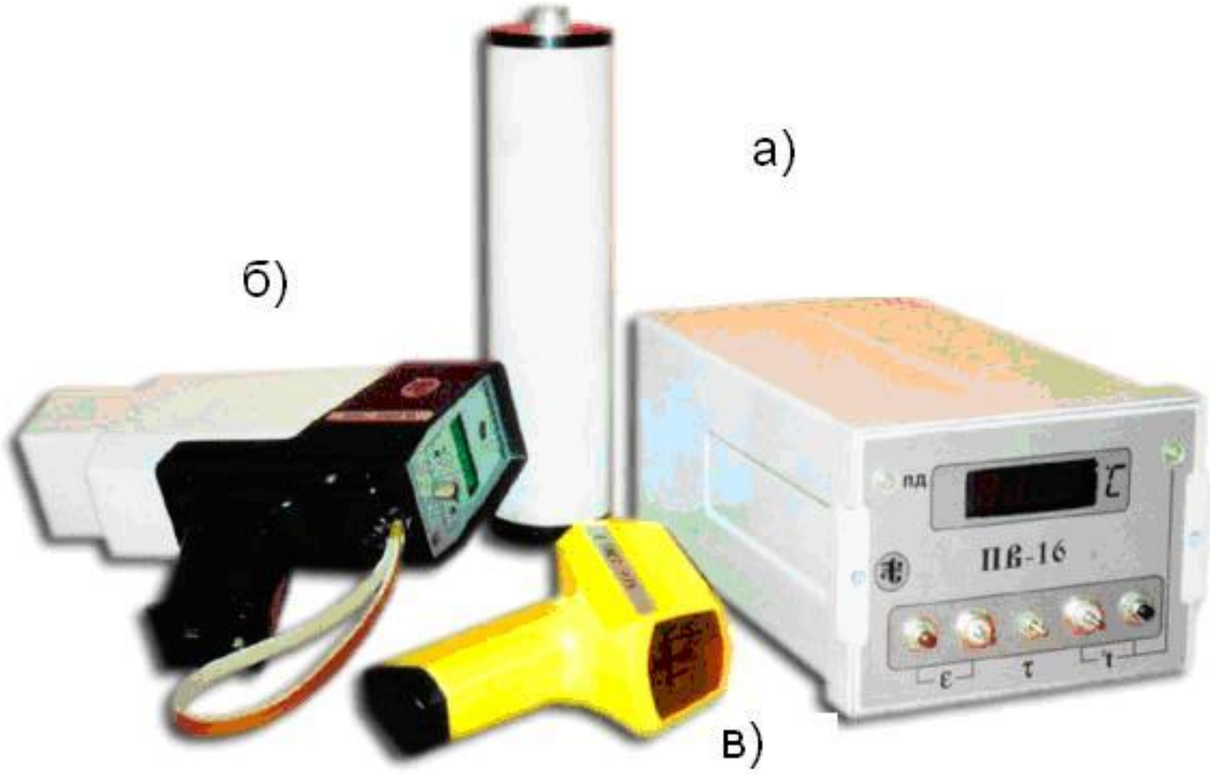


Рисунок 5.28

Пірометри: стаціонарний (а), переносні „Смотрич-4ПМ, 5ПМ" (б) і „Термозонд" („Стир-1") (в)

Технічні характеристики переносних приладів наведено в табл. 5.4.

Ідентифікацію вимірюваної температури фіксують на табло в цифровій формі. Прилади запам'ятовують поточні і максимальні значення температур. Передбачена поправка на випромінювальну здатність об'єкта, визначення якої здійснюють за відомими значеннями температури. Вихідний сигнал приладів уніфікований (0…5 мА чи 4…20 мА; 0…10 В; 0…100 мВ).

Таблиця 5.4

Тип	Діапазон вимірюван-ня, °С	Відстань до об'єкту виміру, м	Похибка, %	Час виміру, с	Габаритні розміри, мм	Маса, кг
Смотрич -4ПМ	30…300	0,35…15,0	1,5	1,5	70×210×260	1,4
Смотрич -5ПМ	600…1700	1,0…15,0	1,0	1,0	70×210×260	1,4
Смотрич -М6П	–35…1100	1,0	$\pm(0{,}01T_в+1)$°С	2,0	71×230×265	1,5
Термо-зонд	0…200	від 0,01	1,0	2,0	170×155×48	0,5
Стир-1	0…300	0,05	1,5	2,0	∅50×205	1,5
Стир-2	1200…1750	–	$\pm(0{,}01T_в+2)$°С	1,0	∅32×1880	2,5

Відомим в Україні є зарубіжний пірометр AF360 (рис. 5.29) (виробник Тайвань, постачальник «Сімвольт» Україна).

Прилад являє собою інфрачервоний термометр з лазерним наведенням.



Рисунок 5.29
Пірометр AF360

Технічна характеристика

Діапазон вимірювання, °C — від –50 до + 360
Точність — ± 1,5 °C або ± 1,5%
Відношення відстані до об'єкта до ширини пучка — 12 : 1
Замір із кроком, °C — 0,1
Випромінювання — preset 0,95
Час спрацьовування, мс — 500
Фіксація сигналу утримування на екрані — автоматичне
Вимкнення — автоматичне
Прилад оснащено індикатором низького заряду батареї живлення.

Дещо більш широкими можливостями володіє інфрачервоний портативний пірометр 880 E (рис. 5.30). Завдяки невеликим розмірам, високій точності, малій вазі і широкому діапазону вимірювання цей прилад користується широким попитом в різних країнах. Прилад легкий у використанні, має зручне лазерне наведення, що автоматично вмикається під час вимірювання.



Рисунок 5.30
Портативний пірометр 880 E

Діапазон вимірюваних температур складає –30 до +550 °C. В приладі передбачено підсвічення, регульований коефіцієнт випромінювання і налагодження звукового сигналу. Інші показники такі ж самі, що і у приладу AF360. Постачальник приладів «Сімвольт» Україна.

ТЕПЛОВІЗОРИ

Тепловізори, як і пірометри, призначаються для безконтактного вимірювання температур. Проте на відміну від пірометрів, які фіксують точкове значення температур, тепловізори дозволяють фіксувати картину розподілення температури по обстежуваному об'єкті, тобто вимірювати температурне поле, що, в деяких випадках, вкрай важливо. В той же час на екрані приладу відображається в цифровій формі температура окремих точок обстежуваного об'єкта.

До кращих світових зразків тепловізорів відносять тепловізори Thermo View Ti 30, HOT SHOT, Vario CAM, Thermo Vision A40-M, які постачає Росія.

Ці прилади одночасно відображають термограму і температуру, мають яскраве і чітке зображення, програмне забезпечення для аналізу термограм і підготовки звітів.

Застосування тепловізорів забезпечує запобігання простоїв за рахунок усунення аварійних ситуацій, швидкого і якісного виявлення технічних і функціональних проблем при обслуговуванні обладнання. Дозволяє оцінювати якість виконуваних ремонтних і профілактичних робіт, виявляти джерела і оцінювати рівні енергетичних втрат. Прилади також є високоефективним засобом для проведення досліджень і передбачають можливість накопичення документальних архівів термограм і супутніх даних про проведені дослідження.

Технічні характеристики вищеназваних приладів детально висвітлено в роботі [12]. Тому зупинимось на описі лише тепловізора Thermo Vision A40-M (рис. 5.31), який має найбільші можливості щодо широкого спектру обстеження різноманітних об'єктів.



Рисунок 5.31
Тепловізор Thermo Vision A40-M

Діапазон вимірювання температур складає від –40 до 1500 °С. Вихідний сигнал: аналоговий RS170 EIA/NTSC чи МЭК/PAL; цифровий Fire Wire чи RTP з виходом Ethernet.

Прилад має великий набір об'єктивів і макроз'ємних насадок, що дозволяє крім звичайних виробничих обстежень глибокі експериментальні дослідження різноманітних об'єктів, які розпочинаються від елементарних вузлів тертя до самих складних промислових об'єктів.

Наводимо такий приклад. Обстеженню піддавалась маслонапірна установка з двома насосами. За допомогою вібродіагностичних засобів на основі спектру вібрацій було допущено, що джерелом підвищеного вібраційного стану установки є муфта, що розташована між двигуном і насосом. Проте встановити конкретну причину, чим викликано такий стан, за допомогою вібромоніторингу не вдалося. В той же час за допомогою тепловізора Thermo Vision A40-M встановлено, що підвищенні вібрації пов'язані з кутовим зміщенням цієї муфти.

4. ДЕФЕКТОСКОПІЯ

Своєчасне встановлення причин відмов і виявлення дефектів в деталях обладнання є важливою умовою правильного оцінювання стану обладнання, підґрунтям для попередження аварій та призначення відповідного методу підвищення надійності і задатком безаварійної роботи.

Деталі, що отримали аварійні дефекти, мають зазвичай явно виражені ознаки (тріщини, задирки, вибоїни і інше), за якими може бути вирішено питання, чи можна такі деталі допускати до подальшої роботи після деякого відновлення або їх необхідно остаточно вибракувати.

Найбільшу практичну складність являє встановлення вибіркових ознак для деталей, що піддаються природньому механічному зносу.

Для визначення дефектів застосовуються різноманітні методи. Найбільш поширеним є візуальний огляд, а також методи, побудовані на застосуванні гідравлічного і газового тисків, на молекулярних властивостях рідин і магнетного чи електричного полів матеріалів, на властивостях звукових хвиль.

Методи дефектування, що побудовані на гідравлічному і газовому тисках, застосовують при визначенні водонепроникливості швів

і систем трубопрово-дів. Крім того, цими методами виявлення дефектів користуються для тих деталей, які працюють під тиском.

Методи, що основані на молекулярних властивостях рідин, головним чином застосовують для виявлення поверхневих дефектів деталей, виготовлених із немагнетних матеріалів (і не тільки).

Найпростішим і більш-менш доступним на сьогоднішній день є люмінесцентний метод, згідно з яким на знежирену поверхню деталей наноситься люмінофор, який проникає в їх тріщини, після чого люмінофор видаляють з поверхні (промивають і просушують). Потім деталь опромінюють ультрафіолетовими променями. Залишений в тріщинах люмінофор при опроміненні буде яскраво світитись.

Для опромінення розроблено ультрафіолетові освітлювачі. Зокрема застосовуються портативні ультрафіолетові освітлювачі УФ-101 і УФ-102 (ООО НПk «МИКРОН») (рис. 5.32). Вони призначені для люмінесцентного капілярного, магнетопорошкового контролю і течошукання в умовах ускладненого доступу до контрольованої поверхні чи неможливості підводу електроживлення.



Рисунок 5.32
Портативний ультрафіолетовий освітлювач УФ-101

Технічна характеристика УФ:

Довжина хвилі, нм	*— 365*
Інтегральна потужність, мкВт:	
прилад УФ-101	*— 17000*
прилад УФ-102	*— 39000*
Живлення, В	*— 4,5*
Габарити, мм	*— $\varnothing 45 \times 135$*
Маса, кг	*— 0,5*

Поряд з цими портативними приладами НПК «МИКРОН» поставляє стаціонарні ультрафіолетові освітлювачі УФ-301. На відміну від аналогів прилад може використовуватись як в горизонтальному, так і в звичайному вертикальному положенні, а також в підвішеному стані над деталлю.

Це дає можливість розташувати освітлювач на столі проти деталі, установлювати його на полиці, кронштейні і т.п., тобто таким чином, щоб випромінювання було направлено від оператора.

Цим же підприємством поставляються багаторазові аерозольні балони, оснащеними насадами для опилення поверхні. Ці балони підходять як для нанесення компонентів наборів засобів капілярного контролю, так і для магнетопорошкових суспензій і фонових барвників при магнетопорошковому методі.

У вакуумних об'єктах (вакуумнодугові і електроннопроменеві печі, реактори та інше) місце дефектів визначають за допомогою гелію. В цих об'єктах до вакуумної системи приєднується течошукач, який миттєво реагує на наявність в камері гелію, подаючи звуковий і світловий сигнали. Пошуки місць натікання зовнішнього повітря в середину об'єкта (мікротріщини, ущільнення і т. ін.) відбувається наступним чином. Всередині об'єкта створюється необхідна глибина вакууму. Після цього вакуумний простір від'єднується від магістралі вакуумної станції за допомогою передбачених високогерметичних затворів. Гелій набирається в гумову камеру (наприклад, камеру футбольного м'яча) і оператор обдуває гелієм кожний підозрюваний елемент до того часу, поки течошукач не подасть сигналу. Це засвідчить про те, що саме в цьому місці порушена герметичність через утворення мікротріщин у вакуумній камері чи через ненадійного функціонування котрогось із вакуумних ущільнень.

Методи, побудовані на властивостях магнетного поля, застосовують для виявлення в сталевих і чавунних деталях тріщин, прихованих шпарин і шлакових плівок, які не можуть бути визначені візуально. Цей метод застосовується частіше при обстеженні валів, шатунів, штоків і т.п.

Дефектоскопія, створена на властивостях магнетного поля, поділяється на магнетно-порошкову і магнетно-індукційну. Магнетно-порошковий вид дефектоскопії — найбільш поширений і побудований на утворенні полів розсіювання порошкового металу над дефек-

тами при намагнечуванні досліджуваної деталі. Частіше магнетні порошки застосовують у вигдяді суспензій в таких рідинах, як гас, мінеральні масла, вода, спирт і т.п. Магнетний порошок концентрується в місцях, де переривається чи затрудню́ється проходження магнетного потоку всередині деталі, або створює рисунок чи пляму, які відображають контури дефекту.

Для намагнечування деталей застосовується декілька способів, основними з яких є: полюсний (намагнечування постійним магнетом чи електромагнетом зі сталевим сердечником); циркуляційний (через деталь пропускають струм, при якому магнетні силові лінії замикаються всередині самої деталі і вона не має явно виражених полюсів); комбінований (тут одночасно застосовується полюсний і циркуляційний методи).

В якості намагнечувачів використовуються як стаціонарні, так і портативні переносні прилади. Кращим серед останніх вважається портативний магнетний дефектоскоп МД-4П (МД-4К) (рис. 5.33).

Дефектоскоп виконано на постійних магнетах і призначається для виявлення поверхневих дефектів типу порушення суцільності металу магнетопорошковим методом на локальних ділянках деталей шляхом створення прикладеного постійного магнетного поля.

В якості намагнечувальних елементів використовують постійні магнети (без електроживлення), що дозволяє застосувати прилади навіть у вибухово — і пожежонебезпечних середовищах, на будівельних майданчиках, ділянках складання і зварювання, в польових умовах і т. д.



Рисунок 5.33
Портативний магнетний дефектоскоп МД-4П

Основні технічні характеристики

Середній розмір контрольованої дефектної поверхні, мм	*— 120*
Максимальна напруженість поля біля полюсів блоків, А/см	*— не менше 1100*
Зусилля відриву блоків намагнечування феромагнетної поверхні, Н	*— 300...400*
Маса дефектоскопа в комплекті, кг	*— 7,0*

Методи дефектоскопії, побудовані на властивостях звукових хвиль, поділяють на звукові і ультразвукові. Можливістю виявлення дефектів за допомогою звуку почали користуватись давно. При звуковому методі обстукують молотком контрольовану деталь і по звуку, який вона подає, визначають наявність чи відсутність дефекту.

Більш досконалим методом виявлення дефектів, побудованого на властивостях звуку, є ультразвуковий. Розрізняють двох основних методів виявлення дефектів за допомогою ультразвуку: тіньовий (рис. 5.34, а) і метод віддзеркалення (рис. 5.34, б).

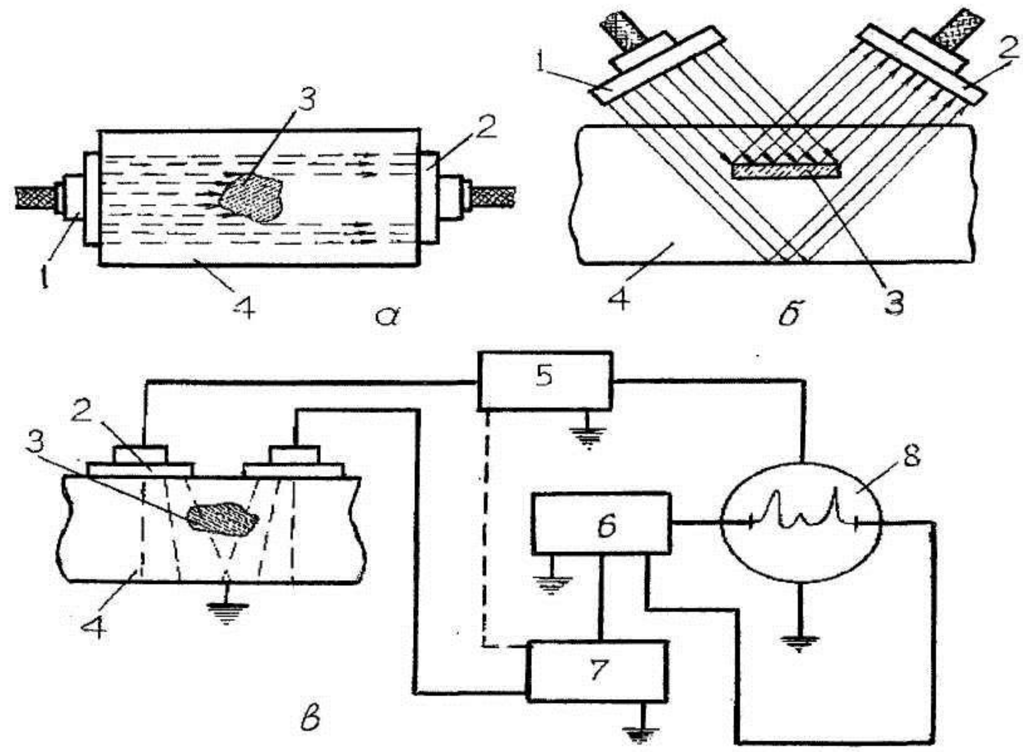


Рисунок 5.34
Схеми виявлення дефектів за допомогою ультразвуку

Суть тіньового методу полягає в поглинанні і розсіюванні частини ультразвукових хвиль від дефектів. Реалізуються ж ці методи за допомогою спеціальних приладів — ультразвукових дефектоскопів.

Найбільшого поширення набули імпульсні дефектоскопи (рис. 5.34, в). Дефектоскоп складається із генератора електричних коливань високої частоти (генератора імпульсів) 7, випромінювача 1, приймача 2, електроннопроменевої трубки 8, підсилювача відбитих імпульсів 5 і генератора 6 розгортання променевої трубки.

Дефектоскоп працює наступним чином. На деталь установлюють випромінювач 1 і приймач 2. Генератор імпульсів 7 збуджує пластину випромінювача, внаслідок чого випромінювач надсилає в метал деталі короткі початкові імпульси коливань тривалістю 0,5–10 мкс, за якими слідує пауза тривалістю 1,5 мкс. Якщо деталь не має дефектів, то імпульси від випромінювача доходять до протилежної сторони деталі і, відбившись від неї, сприймаються приймачем. При наявності дефекту 3 приймач приймає спочатку імпульс, відбитий від дефекту, а потім імпульс — від протилежної сторони деталі (донний сигнал). Початковий імпульс, імпульс, відбитий від дефекту, і донний сигнал реєструються у вигляді сплесків (рис.5.34, в) на екрані індикатора 8. Відстань між початковим і кінцевим сплесками в певному масштабі являє товщину обстежуваної деталі, а між початковим і проміжним вказує на місце розташування дефекту. Якщо в деталі є декілька дефектів, то на індикаторі буде видно декілька проміжних сплесків.

Для ультразвукової дефектоскопії розроблено велику кількість різноманітних приладів (наприклад, УД2-140, УД2-70, «OkO-01», УД3-71 та інші). Проте, найбільшим попитом володіє портативний ультразвуковий дефектоскоп «А1212 Мастер», що являє собою модифіковану версію дефектоскопа широкого призначення для виявлення різноманітних дефектів в матеріалах і виробах (рис. 5.35).

Зокрема за допомогою приладу можна здійснювати контроль зварних швів, виміри товщини стінок виробів, пошуки місць корозії, тріщин, внутрішніх розшарувань, шпарин і інших дефектів, визначення координат різних порушень цільності і однорідності матеріалів (металів і неметалів).



Рисунок 5.35
Ультразвуковий дефектоскоп „А1212 МАСТЕР“

Прилад має велику бібліотеку налагоджень (100 конфігурацій), програмовану форму зондуючого імпульсу, частоту посилання імпульсів до 300 Гц, традиційне А-розгортання з можливістю відбиття сигналів у недектированому вигляді, додаткові режими: «стоп-кадр»; «електронна часова лупа»; розгортання типу В.

Енергонезалежна пам'ять приладу розрахована на 1000 зображень на екрані. Зв'язок з ПК здійснюється по високочастотному USB-порту. Прилад сумісний з широким спектром перетворювачів (датчиків) різних виробників [12].

Основні технічні характеристики

Максимальна товщина матеріалів (для сталі), мм	*— 300*
Робочі частоти, МГц	*— 0,8...15*
Діапазон перебудови швидкості, м/с	*— 1000...15000*
Полоса частот прийомного тракту, МГц	*— 0,5...15*
Тип дисплея	*— LCD (LED-підсвітка, 320×240 точок)*
Діапазон робочих температур, °С	*— від –20 до +50*
Габаритні розміри, мм	*— 245×120×40*
Маса електронного блоку, кг	*— 0,65*

Під час експлуатації обладнання вкрай важливо мати точні відомості про стан його фундаментів, щоб своєчасно прийняти відповідні заходи. Для цього можна використати ультразвуковий дефектоскоп бетону А 1220 (рис. 5.36). Цей прилад є представником із числа небагатьох, які мають цільове призначення. Він призначається для пошуків посторонніх вміщень, порожнин і тріщин всередині виробів і конструкцій із залізобетону, каменю, пластмас і подібним їм матеріалів при однобічному доступі до контрольованого об'єкта.

Дефектоскоп можна використовувати для виміру товщини виробів і для дослідження внутрішньої структури вищеперерахованих матеріалів і оцінювання їх міцності.



Рисунок 5.36
Дефектоскоп А1220

При діагностиці будівельних конструкцій і виробів із залізобетону дефектоскоп сумісно з ЕОМ і спеціальною програмою може працювати в режимі томографу (тобто, забезпечувати візуалізацію внутрішньої структури контрольованого об'єкта). Крім цього прилад дозволяє оцінювати міцністні характеристики.

Прилад складається із електронного блоку з екраном і клавіатурою і 24-х елементного (6×4) матричного антенного пристрою.

Основні технічні характеристики

Мінімальний діаметр виявляємого дефекту у вигляді повітряного циліндра, мм — *12*

Максимальна контрольована
товщина бетону, мм — *600*
Робочі частоти, кГц — *35; 55; 70; 100; 125; 170; 250*
Діапазон робочих температур, ^{o}C — *від –20 до +45*
Габаритні розміри електронного блоку, мм — *234×98×33*
Маса електронного блоку, кг — *0,8*
Габаритні розміри антенного пристрою, мм — *145×90×75*
Маса антенного пристрою, кг — *0,76*

До універсальних ультразвукових приладів, що одночасно призначені як для дефектів, так і товщин обстежуваних об'єктів, відносяться дефектоскопи «ОКО-01», УДЗ-71. А поряд з ними виготовляються прилади цільового призначення — товщиноміри.

Контроль вимірів товщини елементів обстежуваних об'єктів не тільки дозволяє оцінити їх поточний стан, але і спрогнозувати терміни їх безпечної експлуатації. І в окремих випадках саме товщиноміри можуть бути основними засобами технічного моніторингу об'єктів. Зокрема, тільки за допомогою товщиномірів можливо з великою точністю встановити дефекти в трубопроводах, реакторах, насосах, гідравлічній апаратурі, корпусних, транспортних і інших конструкціях.



Рисунок 5.37
Ультразвуковий товщиномірУТ-31

Серед різноманітних типів товщиномірів найбільш зручним в експлуатації і в той же час високоточними приладами є ультразвукові товщиноміри. В Україні найбільш відомим постачальником є науково-виробнича фірма «УЛЬТРАКОН», що постачає прилади в трьох комплектаціях: УТ-31 М; УТ-31; УТ-31 С. На рис. 5.37 представлено прилад УТ-31.

Прилад передбачає легке налагодження і має просте меню. Запис в пам'ять

здійснюється одним натиском кнопки. В прилад вмонтовано калібрувальний зразок. Об'єм вмонтованої пам'яті складає 4000 результатів вимірів (тільки для УТ-31 і УТ-31С). Передачу результатів в ПК здійснюється по каналу RS 232 C. В приладі передбачено сигналізацію розрядження елементів живлення батареї і самовідключення.

Технічні характеристики

Діапазон контрольованих товщин (для сталей), мм	*— 0,8...200*
Швидкість поширення ультразвуку, м/с	*— 1000…9999*
Абсолютна похибка вимірів, мм	*— 0,05+1%*
Робочий діапазон температур, ^{o}C	*— 5…+40*
Габаритні розміри, мм	*— 145×82×32*
Маса прибора, кг	*— 0,47*

Українським постачальником товщиномірів також є фірма «Сімвольт», яка постачає товщиноміри типу ТМ-8812 (рис. 5.38). Вони використовуються для вимірювання товщини і виявлення корозії посудин високого тиску, хімічного обладнання, котлів, резервуарів для зберігання, сталі і заліза, пластику (густина пластику > 10 HA), а також в цілому для машинобудівної, судобудівної, електробудівної і інших галузей промисловості.



Рисунок 5.38
Товщиномір ТМ-8812 з перетворювачем

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання (для сталі), мм	*— 1,2...225*
Швидкість звуку, м/с	*— 500–9000*
Нижня межа розмірів сталевих труб, мм	*— 15×2; 20×3*
Роздільна здатність, мм	*— 0,1*
Точність, %	*— ±(0,5% + 0,1)*
Інтерфейс	*— RS 232 C*
Живлення	*— 4×1,5V AAA*
Індикатор батареї	*— низького заряду*
Робочий діапазон температур, °C	*— 0...+45*

Серед зарубіжних типів товщиномірів в якості кращих зразків вважаються товщиноміри компанії Dakota Ultrasonics (MX-1, MX-2, MX-3, MX-5, MX-6, MVX, PVX).

У виключних випадках, коли у відповідальних об'єктів неможливо встановити дефекти перерахованими методами, застосовують радіаційні методи. Серед рентгенівських апаратів для обстеження технічних об'єктів широкого поширення набули імпульсні портативні апарати типу «Арина» Українського державного підприємства «Ізотоп» (м. Київ). Поряд з цими апаратами широкого застосування набули дефектоскопи „ERESKO 42 MF3“, „РАТМИР-190“, „Сирена-5“.

5. СПЕЦЕФІЧНІ ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ГІДРОСИСТЕМ

Крім вібраційного і теплового моніторингів, які є універсальними методами обстеження найрізноманітніших типів обладнання, при мониторингі гідравлічного обладнання і систем використовують специфічні засоби вимірів. До них можна віднести, перш за все, датчики для вимірювання тиску, реле тиску, манометри, гідроперетворювачі, витратоміри і інше.

ДАТЧИКИ, ПЕРЕТВОРЮВАЧІ І РЕЛЕ ТИСКУ

Поряд з цілою низкою зарубіжних фірм, датчики тиску виготовляються і в окремих країнах СНД (Росія, Білорусь, Україна).

Найбільш широкий типаж датчиків тиску виготовляє російське підприємство ЗАО „Орлекс“ (серії Д, MD, LHP, Н 100, КРТ-5, КРТ-7, КРТ-С, КРТ-СТ, КРТ-У, КРТ-УТ, КРС). Всі ці датчики являють собою мембранні перетворювачі на базі тензометричних резисторів. Тобто, ці перетворювачі перетворюють тиск рідини, що діє на мембрану з резисторами, в електричний сигнал, який може фіксуватись електричним приладом. Опір тензомоста датчиків в середньому складає 3,5–4,0 кОм, вихідний сигнал — 100–300 мВ, достатній для фіксування приладом середньої чутливості. Кожний із датчиків має штуцер з гвинтовою нарізкою, який вгвинчується в гідравлічну магістраль. Датчики мають наступні граничні значення вимірів тиску в МПа:

Датчики серії „Д“	— 0,6; 1; 2,5; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100
Датчики серії „MD“	— 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 150
Датчики серії „LHP“	— 0,1; 0,16; 0,25; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 150.

Найбільші габарити мають датчики серії „LHP“ — ∅25,4×45 мм. Маса їх складає не більше 40 г. Приєднуючий розмір штуцерів — М12×1,25.

Перетворювачі тиску серій КРТ-5, КРТ5-Ех, КРТ-7, КРТ, КРТ-СТ та інші застосовуються, головним чином, в системах автоматичного контролю, регулювання і управління технологічними процесами і в той же час можуть слугувати засобами моніторингу. Особливо це стосується електронних перетворювачів КРТ-7, КРТ-С, КРТ-СТ, КРТ-У. Верхні границі вимірів тиску досягають 100 МПа, тобто діапазон вимірюваних тисків тут вкрай широкий, що дозволяє їх використовувати в найрізноманітніших гідравлічних системах.

Значно ширше розкрито характеристики датчиків і перетворювачів в роботі [12].

ВИТРАТОМІРИ

Із множини датчиків витрат рідин (витратомірів) для діагностування використовуються наступні типи:

- змінного перепаду тиску;
- обтікання (з поворотною лопаттю);
- тахометричні турбінні (з аксіальною і тангенціальною турбінами), кулькові, камерні (поршневі, шестерневі і лопатеві гідромотори);
- теплові з електричним нагрівом (калометричні із зовнішнім нагрівом і
- термоанометричні);
- ультразвукові (з рухом коливань рухомого середовища і доплеровські);
- вихрові.

Найбільшого поширення набули витратоміри ПРШ вмонтованого і переносного виконань з пропорційним вихідним сигналом, лічильники рідини ШЖУ-25-16 і ШЖУ-40С-60 вмонтованого виконання і візуальним спостереженням, витратоміри з лічильниками ВЖУ-100-0,6 і ВЖУ-100-1,6 вмонтованого виконання з візуальним спостереженням, ролико-лопатеві витратоміри РЛГ-100 і ОР-20 вмонтованого виконання і візуальним спостереженням. Технічні характеристики витратомірів подано в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Технічні характеристики витратомірів

Тип	Діапазон вимірів, л/хв	Похибка, %
ПРШ	до 16; до 63; до 160; до 320	1,0
ШЖУ-25-16	38…50	0,5
ШЖУ-40С-60	33…280	0,5
ВЖУ-100-6, ВЖУ-100-1,6	до 200	0,5
РЛГ-100	13…300	0,5
ОР-20	0,8…33	0,5
Х41-1	5…25;10…50;16…80;25…125;40…200	10

Нові конструкції ультразвукових і вихрових витратомірів мають вмонтоване виконання і оснащені ЖК-дисплеєм (поточний витрати + суматор). Виходи: струмовий 4–20 мА + імпульсний 0...100 Гц. Максимальний тиск вимірюваного середовища — до 10 МПа.

Зовнішній вид ультразвукового (а) і вихрового (б) витратомірів показано на рис. 5.39.



а)



б)

Рисунок 5.39
Витратомір ультразвуковий (а), вихровий (б)

ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ТА ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ

Відзнакою цих засобів є те, що вини розраховані на порівняно невеликий діапазон температур. Зокрема промисловістю виготовляються манометричні датчики типу ТКП (вмонтованого виконання з пропорційним вихідним електричним сигналом і візуальним спостереженням), термоелектричні цифрові датчики ТТЦ-1(переносного виконання з пропорційним вихідним електричним сигналом і візуальним спостереженням), датчики-реле температури ТАМ-103 (вмонтованого виконання з дискретним електричним сигналом), а також скляні (ТЛ-2, ЕЗК-ЗП) і дилатометричні датчики ТУДЕ-2М і інші. Технічні характеристики деяких типів датчиків наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Технічні характеристики датчиків в температурі

Тип	Межі вимірювання, °С	Похибка, %
ТкП	–25…+35; –25…+75; 0…50; 0…100; 50…150	1; 1,5
ТТЦ	0…100; 0…200; 0…600	+0,6
ТАМ-103	–50…+170; 0…100; 0…150; 0…250; 0…360	1; 1,5
ТЗk ЗП	0…50	1 °С
ТУДЭ-2М	25…125; 100…200; 20…300; 100…250; 0…100	2,5
ТРЭ-104	–50…+600	+1

УНІВЕРСАЛЬНІ ЗАСОБИ МОНІТОРИНГ У ГІДРОСИСТЕМ

До цих засобів відносяться, насамперед, гідротестери. Гідротестер являє собою малогабаритний переносний прилад для оперативного вимірювання робочих параметрів гідропривода (тиску, температури, витрат, витікань, різниці тисків і температур, пульсації потоків, пікових тисків, частоти обертання) за допомогою стрілкових приладів, пристроїв цифрової індикації або роздрукування результатів вимірів. Зокрема для вимірів витрат, тиску і температури виготовляються гідротестери типів КСП, КРК і КДП.

Гідротестери КРК і КСП виконують з цифровою індикацією, а КДП — з можливістю роздрукування результатів вимірів (бувший «ВНИИ гидропривод», м. Харків).

До числа провідних підприємств Росії, що поставляють гідротестери, відноситься НПП «ГИДРОСЕРВИС». Підприємство реалізує гідротестери трьох типів: ГТ-01; ГТ-02; СД-06, технічні характеристики яких наведено в табл. 5.7. Сферою застосування цих приладів є обстеження технічного стану гідронасосів, гідромоторів, розподілювачів і гідроциліндрів будь-якого типу безпосередньо на машині.

Таблиця 5.7

Технічні характеристики гідротестерів

Параметри	Тип гідротестера		
	ГТ-01	ГТ-02	СД-06
Тиск рідини, МПа	0…400	0…400	0…400
Напруга живлення, В	4,5	4,5	12
Витрати рідини, л/хв	5…500	2,5…250	5…200
Температура рідини, °С	0…100	0…100	0…100
Частота обертання вала, об/хв	0…2500	0…2500	100…5000
Маса комплекту, кг	10	5	40

Гідротестери мають однакові функціональні можливості, до яких можна віднести:

- визначення об'ємного ККД гідронасосу шляхом вимірів його продуктивності без навантаження і під навантаженням;
- визначення внутрішніх протікань в гідроциліндрах, гідромоторах і гідророзподілювачах шляхом безпосереднього виміру їх величин;
- визначення тиску налагодження запобіжних клапанів;
- плавне контрольоване перевіряння навантаження гідровузла і гідропередачі за допомогою навантажувальних пристроїв.

Гідротестери ГТ-01 і ГТ-02 відносяться до класу механічних і обладнані стрілковими типами вимірювальних блоків і турбінними датчиками витрат, а гідротестери СД-06 — цифровим типом вимірювального блоку і об'ємним датчиком витрат. Місце підключення гідротестерів ГТ-01 і ГТ-02 на машині — після обстежуваного гідроапарата, а гідротестеру СД-06 — між гідронасосом і гідророзподілювачем.

Більш широкими можливостями володіють електронні (цифрові і осциллографічні) гідротестери, в склад яких входить більша кількість вимірювальних і інших блоків. Зовнішній вигляд цих гідротестерів представлено на рис. 5.40.

Ці гідротестори випускаються на базі індикаторів статичних і динамічних параметрів і комплектуються датчиками тиску, температури, витрат. Комплекти приладів і пристроїв, що входять до складу

гідротестерів, постачаються в портативних носимих футлярах, що нагадують своєю формою і розмірами дипломати.



а



б

Рисунок 5. 40

Цифровий (а) і осцилографічний (б) електронні гідротестери

Розділ 6
Змащення обладнання

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Одним з найбільш ефективних шляхів підвищення тривалості і надійності машин, а також зменшення надмірних втрат енергії є введення мастильних матеріалів в зони тертя. Проте мастильні матеріали володіють не тільки мастильними властивостями, але й консервованими, що захищає обладнання від корозії.

Сучасні мастильні матеріали за своїм складом і видом вихідної сировини для їх виробництва поділяються на мінеральні, рослинні, тваринні і синтетичні. В останній час, головним чином, використовуються мінеральні, синтетичні і комбіновані матеріали.

За фізичним станом вони поділяються на *масла (рідкі мастила), пластичні* і *тверді мастила*.

Масла зменшують коефіцієнт тертя, охолоджують поверхні тертя, захищають їх від корозії, віддаляють продукти зносу і інші абразивні частки, які попадають у вузли тертя із атмосфери цеху чи навколишнього середовища. Їх використовують у випадках, коли:

- у вузлах вдається створити рідинне чи напіврідинне тертя;
- є надійне ущільнення чи воно не потрібне через розташування вузлів у герметичних закритих корпусах(підшипники і передачі редукторів і т.д.);
- необхідно примусово відводити тепло чи промивати вузол для відведення продуктів зносу і виробничого пилу.

Пластичні мастила зберігають окремі властивості масел і твердих мастильних матеріалів. В їх склад входять масло (75–90%), згущувач (10–25%), невелика кількість наповнювачів, стабілізаторів і присадок. Вони використо-вуються для вузлів, тепло яких повністю відводиться в навколишній простір, і для важковантажних підшипників ковзання, зубчастих відкритих передач, в якості закладних мастил вузлів тертя, а також деякі з них для централізованих систем ручного чи автоматичного змащення.

Тверді мастила застосовуються для важковантажних вузлів і в тих місцях і при тих умовах, де не утримується і не витримує пластичне

мастило. Мастильна дія цих матеріалів обумовлена шаровою структурою їх кристалічних решіток, що в свою чергу, обумовлено збільшеною міцністю атомарних зв’язків в площинах і зменшеною міцністю зв’язків між паралельними площинами, з яких складається решітка.

Важливою властивістю мастильного матеріалу є його в’язкість, за якою підбирають і розраховують сорт і вид мастила. Розрізняють в’язкість динамічну і кінематичну.

Динамічною в’язкістю чи *коефіцієнтом внутрішнього тертя* (η, μ) називають силу опору при взаємному переміщенні двох шарів рідини. Одиницею виміру тут є паскаль-секунда (Па$\cdot$с). Динамічна в’язкість води за цим виміром складає 1005 мкПа$\cdot$с.

Кінематична в’язкість (ν) являє собою питомий коефіцієнт втунріш-нього тертя рідини чи відношення її динамічної в’язкості до густини, тобто $\nu = \mu / \rho$. Кінематична в’язкість має одиницю виміру метр квадратний в секунду (м²⁄с). Кінематична в’язкість дистильованої води при 20 С складає 10^{-6} (м²⁄с).

Кінематична в’язкість може також виражатись в умовних одиницях (УВ) в залежності від відносної швидкості витікання певної кількості рідини через калібрований отвір. Вона визначається як відношення часу витікання певної кількості рідини через калібрований отвір віскозиметру при 50 чи 100°С до часу витікання тієї ж кількості дистильованої води при 20°С через такий же отвір. Виражається в градусах в’язкості умовних (В$^\circ$У), чисельно відповідних в’язкості за шкалою Енглера ($^\circ$Е).

Загалом же в характеристиках мастильних матеріалів подається переважно кінематична в’язкість.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Всі рідкі мастильні матеріали поділяються на класи за величиною в’язкості (класифікація SAE для моторних і трансмісійних масел, класифікація ISO VG (viscosity grade) для індустріальних масел) і на групи за рівнем експлуатаційних властивостей (класифікація API, ACEA для моторних і трансмісійних масел, класифікація ISO для індустріальних масел). Загалом же мастильні матеріали поділяються на підгрупи за агрегатним станом (*рідкі*, *напіврідкі*, *тверді*, *напівтверді*,

газоподібні) і призначенням (*моторні, трансмі-сійні, редукторні, індустріальні* і т. д.).

Моторні масла використовуються головним чином, в двигунах внутріш-нього згоряння.

Трансмісійні масла — масла широкого призначення. Застосовуються для змащення вузлів і деталей трансмісій: коробок передач, ведучих мостів, коробок відбору потужності, роздавальних коробок, редукторів і т.п.

Робоча температура масла у вузлах тертя трансмісії транспортних і промислових об'єктів змінюється в широких границях і може досягати 120–150 °С. Зазвичай для характеристики температурної границі приймається температура масла в об'ємі, хоча в зоні контактів температура нагріву масла може бути більш високою.

Найбільшу групу масел складають *індустріальні масла*, що пов'язано з великою різноманітністю зношуваних вузлів і деталей промисловості і умов їх роботи. Асортимент цих масел складає більше 90 найменувань. За призначен-ням приблизно 47% складають масла, що використовуються в якості робочої рідини для гідросистем, і 41% для зубчастих і черв'ячних передач, а також важконавантажених елементів промислового обладнання. До групи індустріаль-них відносяться редукторні масла і масла для прокатних станів і інші, які мають певні особливості, щоураховують специфіку умов роботи цих об'єктів. Зокрема до цієї групи відносяться пластичні індустріальні мастила (Азмол, Уніол, Траверсол, Суллена). Таким чином, якщо раніш суто індустріальне масло розрізняли за буквою «И» (наприклад, И-20), то сьогодні слово «індустріальне» має більш широке поняття.

До пластичних мастил широкого застосування відносяться наступні мастила: Солідол, Консталін, Уніол, ЦІАТИМ, ЛІТОЛ.

Властивостями твердих мастильних матеріалів володіє ціла низка речовин: графіт, дісульфід молібдену, дісульфід вольфраму, селеніди і телуріди молібдену і вольфраму, фтористий кальцій, нітрид бору, йодистий кадмій, свинець, вісмут, срібло і інші. Випускаються також дісульфід-молібденові мастильні стрижні МЭ-22, які призначені для змащування коліс і рейок заводського транспорту і кранів.

Поряд з маслами і мастилами загального призначення виготовляються мастильні матеріали суто цільового призначення. Зокрема до них можна віднести мастила для герметизації і запобігання спіканню

нерухомих різьбових з'єднань і ущільнень, що контактують з агресивними середовищами (концентрованими неорганічними кислотами, лугами, аніонами, спиртами), канатні мастила і просочувальні речовини та інше.

В таблиці 6.1 наведено найбільш показові характеристики масел і мастил.

Таблиця 6.1

Основні типи та характеристики масел та мастил

Найменування, тип	В'язкість, $мм^2/с$; $Па \cdot с$	Сфера застосування та деякі показники властивості
1	2	3
<u>МАСЛА</u> ТАД-17И	120 (50ºС)	Змащення циліндричних, конічних і спірально-конічних та гіпоїдних передач, $T_з = -25°C$.
ТМ1-18 ТМ1-34 ТМ1-43	17–19 (50ºС) 32–36 (50ºС) 41–45 (50ºС)	Змащення прямозубих, спірально-конічних та черв'ячних передач, що працюють при контактних напругах до 1000 МПа. $Т_{МО} \le 90°С$.
ТМ2-9 ТМ2-18 ТМ2-34 ТМ2-43	8–11 (50ºС) 17–19 (50ºС) 33–35 (50ºС) –	Змащення прямозубих передач, що працюють при контактних напру-женнях до 2000 МПа. $Т_{МО} \le 120°С$.
ТМ3-12 ТМ3-18 ТМ3-34 ТМ3-43	11–13 (50ºС) 17–19 (50ºС) 33–35 (50ºС) 42–44 (50ºС)	Змащення прямозубих, спірально-конічних і черв'ячних передач, що працюють при контактних напруженнях більше 2000 МПа. $Т_{МО} \le 120°С$.
ТМ4-12 ТМ4-18	11–13 (50ºС) 17–19 (50ºС)	Змащення гіпоїдних передач, що працюють при високій швидкості ковзання і низькому крутному моменті; низькій

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
ТМ4-34 ТМ4-43	33–35 (50ºC) 42–44 (50ºC)	швидкості ковзання і високому крутному моменті. $T_{МО} \leq 135°C$
ТМ5-12 ТМ5-34 ТМ5-43 ТМ5-2РК	11–13 (50ºC) 33–35 (50ºC) 42–44 (50ºC) –	Змащення гіпоїдних передач, що працюють при високій швидкості ковзання і ударних навантаженнях; високій швидкості і низькому крутному моменті; низькій швидкості і високому крутному моменті. $T_{МО} \leq 135°C$. Змащення деталей і вузлів важконавантажених машин, що працюють на відкритому просторі (робочо-консерваційне).
И-5А И-8А	4–6 (50ºC) 7–9 (50ºC)	Змащення малонавантажених високошвидкісних механізмів, контрольно-вимірювальних приладів. $T_з = -18°C; T_з = -15°C$.
И-12А	10–14 (50ºC)	Змащення шпинделей металорізальних верстатів і інших вузлів та передач з частотою до 10000 $хв^{-1}$. $T_з = -15°C$.
И-20А И-25А И-30А И-40А	17–23 (50ºC) 24–27 (50ºC) 28–33 (50ºC) 35–45 (50ºC)	Робочі рідини в гідросистемах, змащення підшипників і зубчастих передач мало- і середньонавантажених машин, що працюють на частоті до 1500 $хв^{-1}$. $T_з = -15°C$.
И-50А	47–55 (50ºC)	Гідросистеми важконавантажених машин, що працюють при малих швидкостях і частих зупинках. $T_з = -15°C$.
ИГП-4 ИГП-6 ИГП-8	3–5 (50ºC) 5–7 (50ºC) 7–9 (50ºC)	Робочі рідини гідросистем, змащування високошвидкісних коробок передач, мало- і середньонавантажених редукторів, черв’ячних передач, варіаторів, підшипників і т.п. $T_з = -15°C$.

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
ИГП-18 ИГП-30 ИГП-38 ИГП-49	17–21 (50ºC) 28–31 (50ºC) 35–40 (50ºC) 47–51 (50ºC)	Робочі рідини гідросистем, змащування високошвидкісних коробок передач, мало- і середньонавантажених редукторів, черв'ячних передач, варіаторів, підшипників і т.п. $T_з = -15°C$.
ИГП-72 ИГП-91 ИГП-114	70–75 (50ºC) 88–94 (50ºC) 110–118 (50ºC)	Робочі рідини гідросистем важкого пресового обладнання, змащення шестерневих передач, середньонавантажених зубчастих і черв'ячних передач. $T_з = -15°C$.
ИГП-152 ИГП-182	147–158 (50ºC) 175–190 (50ºC)	Змащення важконавантажених зубчастих і черв'ячних передач, коробок швидкостей і інших вузлів. $T_з = -15°C$.
АЗМОЛ ИГС-32 АЗМОЛ ИГС-46 АЗМОЛ ИГС-68	25–35 (40ºC) 41–51 (40ºC) 61–75 (40ºC)	Серія масел АЗМОЛ ИГС призначена для сучасних гідравлічних систем верстатів, автоматичних ліній, що працюють в звичайному і жорсткому режимах, в умовах обезводнювання і обладнаного фільтрами тонкого очищення.
АЗМОЛ ПЖТ-220	18–24 (100ºC)	Призначається для редукторів і циркуляційних систем змащення підшипників рідинного тертя (ПЖТ) прокатних станів. Працездатне при питомих навантаженнях в зубчастих передачах від 80 до 300 МПа. $T_з = -9°C$.
ПС-28	26–30 (100ºC)	Призначається для змащення редукторів і важконавантажених вузлів прокатних станів з циркуляційними системами. $T_з = -10°C$.
Агринол ПС-28з	26–31 (100ºC)	Використовується в циркуляційних системах змащення прокатних станів, редукторах, середньо- і

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
		важконавантажених вузлах прокатного обладнання (крім підшипників ПЖТ). $T_з = -12°C$.
Агринол ПЖТ-46 Агринол ПЖТ-220 Агринол ПЖТ-460	42–50 (40ºC) 200–240 (40ºC) 420–510 (40ºC)	Призначається для змащення підшипників рідинного тертя (ПЖТ), валків прокатних станів, оснащених циркуляційними системами з трубопроводами різної протяжності і розгалуженнях з можливим обезводненням. $T_з = -10°C$.
Агринол РЕДУКТОЛ: 1-C-D-32 1-C-D-68 1-C-D-100 1-C-D-242	 29–35 (40ºC) 61–75 (40ºC) 90–110 (40ºC) 198–242 (40ºC)	Використовуються для змащення всіх видів зубчастих, гвинтових і черв'ячних передач різноманітного обладнання (верстатів, пресів, ливарних машин, прокатних станів, мостових кранів і т. д.). $T_з = -15...-18°C$.
АЗМОЛ: И-Т-Д-32 И-Т-Д-46 И-Т-Д-68 И-Т-Д-100 И-Т-Д-150 И-Т-Д-220 И-Т-Д-320 И-Т-Д-460	 29–35 (40ºC) 41–51 (40ºC) 61–75 (40ºC) 90–110 (40ºC) 135–165 (40ºC) 198–242 (40ºC) 288–352 (40ºC) 414–506 (40ºC)	Використовуються для змащення зубчастих передач і інших елементів (вузлів тертя, підшипників кочення, іншої техніки). $T_з = -18°C$. В И-Т-Д-320 і И-Т-Д-460 $T_з = -12°C$.
ИЦП-20 ИЦП-40	19–21 (50ºC) 39–41 (50ºC)	Змащення ланцюгів конвеєрів, а також для змащування.

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
АЗМОЛ ВМ-4	48–57 (50ºС)	Використовується в якості робочої рідини для механічних вакуумних насосів, а також для змащення вакуумних ущільнень.
<u>МАСТИЛА</u> Солідол жировий Солідол ЖССХ	$250\,\text{Па}\cdot\text{с}$ (0ºС) –	Змащення грубих вузлів тертя кочення і ковзання, гвинтових і ланцюгових передач, тихохідних редукторів і т.п. Температура капле-випадання T=78°C.
Уніол 2М/1 Уніол 2М/2 Суллена	$160\,\text{Па}\cdot\text{с}$ (0ºС) $110\,\text{Па}\cdot\text{с}$ (0ºС) –	Уніол 2М/1 — для змащення механізмів, що працюють при високих питомих навантаженнях; Уніол 2М/2 — для металургійного обладнання з системами централізованої подачі мастила; Суллена — для змащення високонавантажених і високотемпературних вузлів тертя металургійного обладнання. Температура каплевипадання $\text{T} \approx 230\text{°C}$.
ЦИАТИМ-203	$1000\,\text{Па}\cdot\text{с}$ (–30ºС)	Змащення зубчастих, черв'ячних редукторів, опор ковзання і підшипників кочення, різноманітних силових приводів, гвинтових пар. Температура каплевипадання T=160°C.
ЦИАТИМ-221	$800\,\text{Па}\cdot\text{с}$ (–50ºС)	Змащення підшипників кочення електромашин, систем управління і приладів з частотою обертання до 10000 хв^{-1}. Температура капле-випадання T=250°C.
Азмол Аэрол-1	–	Змащення шарнірів універсальних шпинделей товстолистових станів і підшипників кочення промислового обладнання при централізованій подачі мастила. $(P_к)=1568$.
Азмол Бентол	–	Змащення важконавантажених вузлів тертя обладнання, працюючого при високих температурах. Температура капле

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
		випадання T=230°C.
ЦИАТИМ-208	1800 Па·с (–30ºС)	Змащення важконавантажених редукторів, черв'ячних і зубчастих передач гусеничної техніки.
Азмол Трансол-100 Азмол Трансол-200	1200 Па·с (–30ºС) 1400 Па·с (–30ºС)	Трансол-100 — змащення черв'ячних редукторів і мотор-редукторів, що працюють з максимальними питомими навантаженнями в зачепленні до 400 МПа. Трансол-200 — змащення циліндричних і планетарних редукторів, мотор-редукторів, що працюють з максимальними питоми-ми навантаженнями в зачепленні до 2000 МПа. Температура капле-випадання T=150°C.
Азмол: 39У Торсиол-35Б Торсиол-35Э	4.5 (100 ºС) 8.5 (100 ºС) 10–20 (50 ºС)	Змащення сталевих канатів при виготовленні (Азмол Торсиол-35Б) і експлуатації канатів. Температура каплевипадання T = 70...80°C.
Е-1	–	Просичення органічних серцевин сталевих канатів.
Агринол: Прокат Ол-2 Прокат Ол-0	160 Па·с (0 ºС) 110 Па·с (0 ºС)	Ол-2 змащення закладним способом механізмів з відкритими вузлами тертя, що працюють при високих питомих навантаженнях; Ол-0 — змащення того ж обладнання за допомогою централізованих засобів змащення. Температура каплевипадання T=230°C.
Агринол: ИП-1л(літня) ИП-1л(зимова)	160 Па·с (0 ºС) 110 Па·с (0 ºС)	Використовуються для централізованих систем змащення обладнання прокатних станів, доменних печей і іншого крупногабаритного обладнання, що працює при середніх і висо-

Закінчення таблиці 6.1

1	2	3
		ких навантаженнях. Температура каплевипадання T=230°C.
Агринол Прокатол (ЕР-2)	220 Па · с (0 ºС)	Змащення закладним способом вузлів тертя прокатних станів, доменних печей і іншого крупногабаритного обладнання металургій-ного виробництва. Температура каплевипадання T=245°C.
КЛС-1 прокатна КЛС-2 прокатна	1600 Па · с (–20 ºС) 2200 Па · с (–20 ºС)	Застосовуються для змащення підшипників кочення робочих валків. КЛС-1 — в централізованих системах неперервного змащування, КЛС-2 — в закладних вузлах. Допускається використання і в інших випадках при підвищених вимогах. Температура каплевипадання T=290°C.
Униол-20	55 Па · с (20 ºС)	Універсальний мастильний матеріал. Змащування обладнання як для закладних вузлів тертя, так і для централізованих мастильних систем.
<u>Тверді мастила</u> Графіт С Дісульфід молібдену MoS_2 Селенід молібдену $MoSe_2$ Селенід вольфраму WSe_2		Тяжконавантажені вузли, де не витримують пластичні мастила. Температура застосування відповідно, °C: від –250 до +340; від –250 до +375; від –150 до +375; від –150 до +325
$T_з$ — температура захолонення; $T_{МО}$ — температура масла в об'ємі.		

3. ОТРИМАННЯ НЕОБХІДНОЇ В'ЯЗКОСТІ МАСЕЛ ПРИ ЇХ ОБМЕЖЕНОМУ АСОРТИМЕНТІ

Іноді виникає необхідність у використанні масла з в'язкістю, якого немає в наявності через обмежений асортимент мастильних матеріалів. Наприклад, в'язкість індустріального масла має складати 20 мм^2/с, а в наявності є індустріальні масла И-12А (в'язкість 12 мм^2/с) і И-50А (в'язкість 50 мм^2/с). В цьому випадку їх необхідно змішати в певному відношенні.

Для цього можна скористатись наступною формулою:

$$\Sigma \nu = \frac{a \cdot \nu_1 + b \cdot \nu_2 - k(\nu_1 - \nu_2)}{100},$$

де *a, b* — об'ємна кількість компонентів в суміші; $(a + b) = 100\%$;

ν_1, ν_2 — відповідно в'язкість масел И-50А і И-12А;

k — коефіцієнт, який вибирається з нижченаведеного ряду.

a	10	20	30	40	50	60	70	80	90
k	6,7	13,1	17,9	22,1	25,5	27,9	28,2	25	17

Якщо, наприклад, змішаємо 60% масла И-50А і 40% И-12А, то отримаємо суміш з наступною в'язкістю:

$$\Sigma \nu = \frac{60 \cdot 50 + 40 \cdot 12 - 27{,}9(50 - 12)}{100} = 24{,}2 \text{мм}^2/\text{с}.$$

Із таблиці 6.1 виходить, що така в'язкість майже вкладається в інтервал в'язкості для індустріального масла И-20А. При необхідності отриману в'язкість можна знизити за рахунок зменшення кількості масла И-50А в суміші.

На сам кінець слід зауважити, що змішувати допускається лише споріднені марки масел.

4. КАРТА І ТАБЛИЦЯ ЗМАЩУВАННЯ

В складі конструкторської документації, що розробляється підприємством — виробником будь-якого виробу з вузлами тертя, входять карти і таблиці змащування.

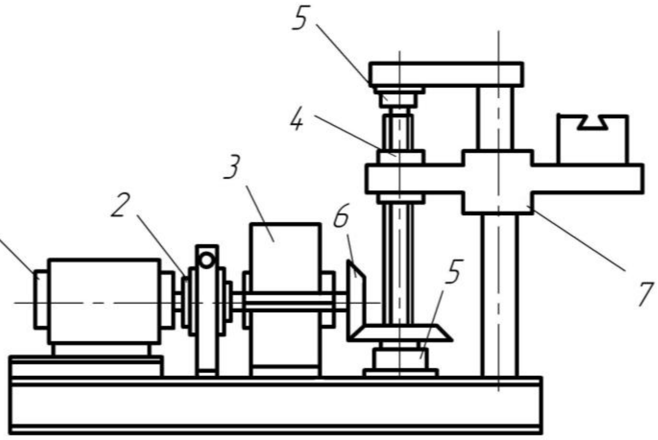
Ці документи регламентують застосування того чи іншого мастильного матеріалу і періодичність проведення робіт по змащенню вузлів тертя. Карту (чи схему) змащування виконують у вигляді спрощеного креслення чи кінематичної (принципової) схеми. Цифрами позначають місця (точки) змащування (рис. 6.1, а). В таблиці змащування (рис. 6.2, б) розшифровують карту змащування і для кожної позначеної на карті точки приводять найменування місця змащення, вид мастильного матеріалу, спосіб і періодичність нанесення.

Для машин і об'єктів технологічного обладнання при відсутності цих документів їх складають, керуючись відповідними регламентуючими вимогами.

Мастильний матеріал для конкретних машин і умов експлуатації належить вибирати, керуючись загальним правилом, що для тихохідних і важконавантажених вузлів тертя належить застосувати більш в'язкі і пластичні мастильні матеріали, а для малонавантажених і високошвидкісних вузлів — мастильні матеріали з невисокою в'язкістю. Вузли тертя, що працюють в умовах підвищених температур, змащують більш в'язкими маслами. При закладенні пластичних мастильних матеріалів (мастил) не слід повністю заповнювати весь простір закладочних об'єктів, оскільки це може призвести до більш інтенсивного зносу поверхонь тертя (доведено експериментально).

Карта і таблиця змащування є основними документами для ведення мастильного господарства на підприємстві. На їх підґрунті виконують розрахунки потреби в мастильних матеріалах за видами і марками, з міркувань використання їх за зміну, за місяць і на протязі року.

Розрахунки потреби в мастильних матеріалах, виконані механіками підрозділів (дільниць, цехів), перевірені і узагальнені у відділі головного механіка, слугують підставою для складання відповідних заявок.



а)

№ поз.	Найменування місця змащення	Мастильний матеріал	Періодичність змащення	Кількість мастила,кг	Періодичність заміни мастила
1	Підшипники електродвигуна	ЦИАТИМ 221	1 раз на 6 міс.	0,2	1 раз на рік
2	Зубчаста муфта	Солідол ЖСХ	1 раз на 3 міс.	0,15	1 раз на рік
3	Редуктор цилідричний	И-30А	Постійно	По вказівн. рівня	1 раз на рік
4	Гвинтова передача	Солідол жировий	1 раз на 3 міс.	0,12	Промивання 2 рази на рік
5	Підшипники гвинтової передачі	Литол 24РК	1 раз на 6 міс.	0,3	1 раз на рік
6	Відкрита конічна зубчаста передача	Униол 20	1 раз на 3 міс.	0,25	Промивання 2 рази на рік
7	Напрямна робочого органа	Униол 20	1 раз на 2 міс.	0,11	Промивання 3 рази на рік

б)

Рисунок 6.1
Карта (схема) (а) і таблиця змащування (б)

5. СПОСОБИ ПОДАЧІ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО ВУЗЛІВ ТЕРТЯ. МАСТИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

Мастильні матеріали можуть подаватись до вузлів тертя за допомогою ручних маслянок і механізованим способом нагнітання рідинного і пластичного мастила.

Коротка класифікація мастильних систем представлена на рис. 6.2.

5.1. Системи рідинного змащування

Рідинне змащування отримало широке поширення завдяки можливості регулювати кількість, тиск і температуру подавного мастильного матеріалу, а також багаторазово його використовувати в циркуляційних системах і відновлювати відпрацьоване масло шляхом регенерації.

Системи рідинного змащення поділяють на нецентралізовані і централізовані, які в свою чергу можуть бути проточними і циркуляційними.

В нецентралізованих проточних системах масло проходить через вузол тертя один раз і виливається зовні. До цих систем відносять: ручну (з наливанням маслянкою), фітильну, за допомогою набивання, капельну, буксову, розпиленням і лубрикаторну. Кожна проточна система, за винятком лубрикаторної, обслуговує один вузол тертя.

В нецентралізованих циркуляційних системах масло перебуває в невеликих ємкостях, звідки направляється до вузлів тертя і повертається назад.

Розрізняють системи з вільною і примусовою циркуляцією масла. До перших відносять кільцеві і картерні (змащення зануренням в масло), до других — індивідуальні примусово-циркуляційні системи з подачею масла під природнім (гідростатичним) напором чи з подачею масла під тиском від насосу.

В централізованих нециркуляційних системах масло надходить до вузлів тертя під тиском від насосу. Регулювання кількості масла здійснюють зміненням діаметра прохідного отвору, зміненням подачі насосу чи дозівними живильниками. У випадках розпилення за допомогою розпилювальних пристроїв подачу масла регулюють зміненням тиску повітря.

В централізованих циркуляційних системах масло неперервно подається до вузлів тертя насосом, повертається назад в резервуар і знову направляється до місць змащення.

За способом управління централізовані системи поділяють на ручні, напівавтоматичні (ручне включення і автоматичне регулювання режиму) і автоматичні.

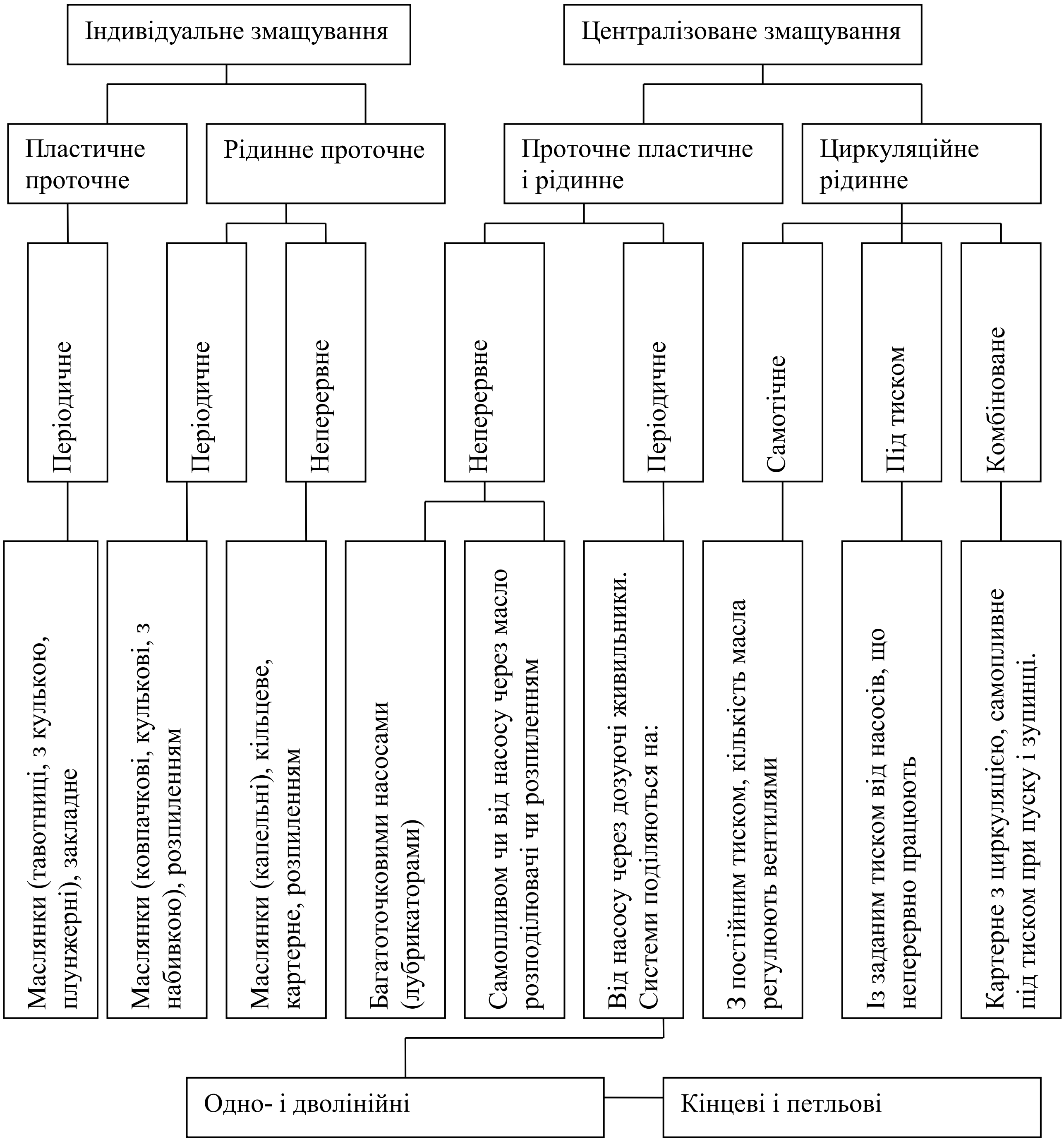


Рисунок 6.2
Системи рідинного змащування

ПРОТОЧНІ СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ

Як видно з рис. 6.2 проточні системи відносяться до індивідуального виду змащування, яке здійснюється загалом за допомогою різноманітних маслянок (наливних, прес-маслянок, гнотових і маслянок з набивкою). Недоліком усіх маслянок є те, що вони не дозволяють регулювати і контролювати подачу масла до поверхонь тертя.

При гнотовому змащенні масло подається до змащуваної точки за допо-могою бавовняного чи шерстяних (вовняних) гнотів. Кількість масла в цьому випадку визначається його в'язкістю і товщиною гно-та і складає в середньому 0,5–5 $см^3$/годину (для масла в'язкістю 30 $мм^2$/с).

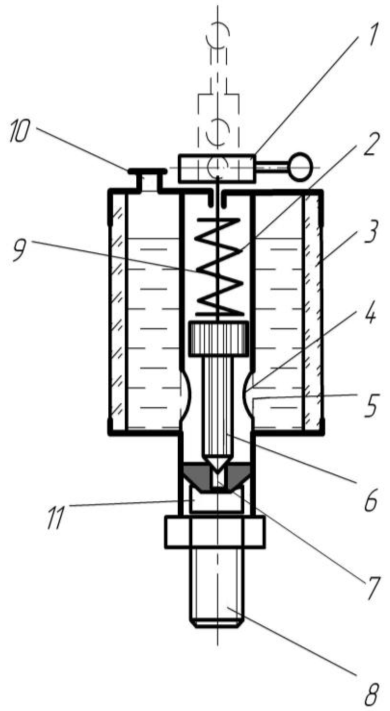


Рисунок 6.3
Наливна капельна маслянка

При капельному змащенні масло подається до вузлів тертя каплями, що дозволяє регулювати чи призупиняти змащення. Режим роботи маслянки установлюють із умов, що 1 г масла містить 25 капель.

Наливна капельна маслянка (рисунок 6.3) складається з корпусу 3, виготовленого із прозорої пластмаси, всередині якого розташовується стрижень 9 з голкою 6. Голка, постійно притиснута пружиною 2 до каліброваного отвору (діафрагми) 7. При необхідності подачі масла в зону тертя голка піднімається вгору важелем 1. Висота підйому регулюється гайкою (на рисунку не показана). Корпус наповнюється маслом через отвір 10. До діафрагми масло надходить через отвори 4, проходячи через сітчастий фільтр 5. Установлюється ж маслянка на об'єкті змащення за допомогою гвинтової нарізки 8. Для забезпечення постійності подачі рівень масла в корпусі має бути не нижче 1/3 його висоти. Нижче діафрагми розташоване оглядове віконце 11, через яке спостерігають за витоком масла.

В деяких випадках (наприклад, при змащенні роликів стрічкових розливних машин кольорових металів) використовуються мас-

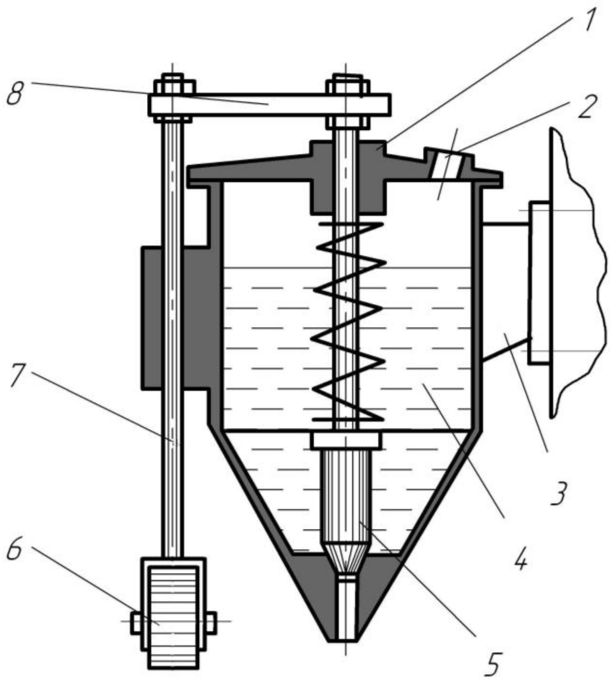
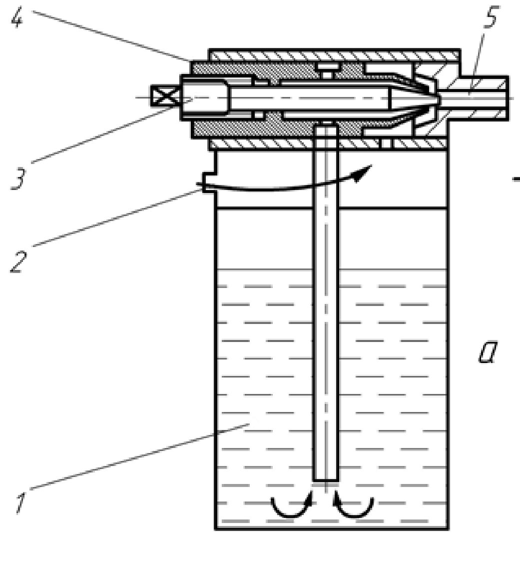


Рисунок 6.4
Маслянка автоматичного спрацьовування

лянки, які автоматично спрацьовують при дії на їх пропускний клапан рухомих роликів ланцюгів. Тобто, масло надходить до вузла тертя (цапф роликів і ланцюгів) тільки тоді, коли ролик підніме клапан (рис. 6.4).

Маслянка складається з корпусу 4, яким вона за допомогою кронштейну 3 кріпиться до нерухомої частини машини, кришка 1 із заливним отвором 2, клапана 5, що притискається до сідла пружиною, ролика 6 зі штоком 7, який з’єднаний через траверсу 8 зі штоком клапана 5.

Змащування розпиленням (масляним туманом) застосовують для кінематичних зубчастих передач, високооборотних підшипників кочення, ланцюгових передач, пневматичних інструменттів. Маслорозпилювач оснащено резервуаром (рисунок 6.5), через який пропускається осушене повітря під тиском 0,1…0,2 МПа.



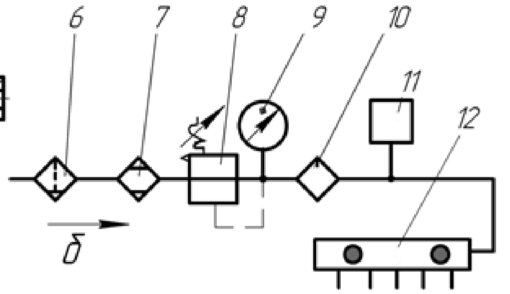


Рисунок 6.5
Маслорозпилювач з резервуаром

а — схема будови; *б* — схема установки;
1 — ємкість; *2* — подача стисненого повітря; *3* — голковий дросель; *4* — гвинт регулювання подачі повітря; *5* — вихід розпиленого масла; *6* — фільтр-вологовідділювач; *7* — осушувач повітря; *8* — регулятор тиску; *9* — манометр; *10* — розпилювач; *11* — датчик тиску; *12* — модуль живильників

Недоліками цього способу змащення є інтенсивність окислення масла і неможливість очищення повітря від парів масла, що забруднює навколишнє середовище.

У вузли тертя періодично працюючих машин, що потребують свіжої порції мастила через певні проміжки часу, змащення проводять прес-маслянками. При цьому на корпусі підшипника установлюється маслянка з кульковим клапаном. Змащення здійснюють переносною ручною маслянкою, носочком якої натискають на кульку, відкриваючи тим самим доступ мастила до каналу його подачі. Після закінчення заправлення пружина притискає кульку до гнізда клапана, перекриваючи отвір мастильного каналу. Прес-маслянки використовують, як правило, для тихохідних і періодично працюючих вузлів тертя.

ЦИРКУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ РІДИННОГО ЗМАЩУВАННЯ

Ці системи поділяються на індивідуальні і централізовані.

Індивідуальні циркуляційні системи поділяються на самопливні, які працюють під заданим тиском, і комбіновані.

В самопливно-циркуляційних системах масло нагнітається насосом із маслобака в проміжний резервуар, розташований вище вузлів тертя, звідки воно самопливом надходить до змащу-ваних вузлів, а потім стікає знову в маслозбирач (рис. 6.6).

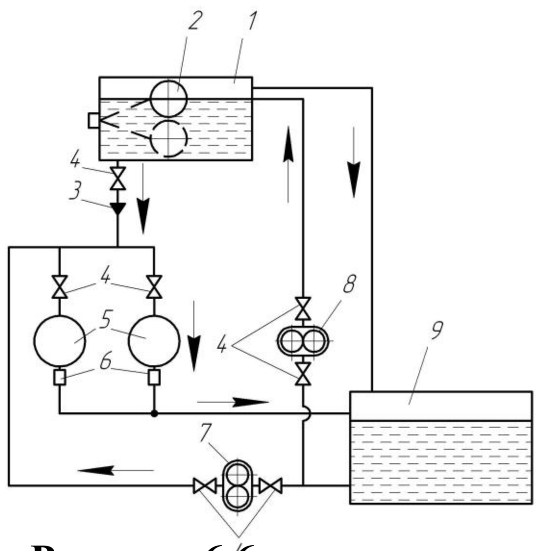


Рисунок 6.6
Самопливно-циркуляційна система рідинного змащування

1 — напірний резервуар; *2* — рівне-мір; *3* — зворотній клапан; *4* — вентиль; *5* — вузли тертя; *6* — вказівник течії; *7* — підпірний насос; *8* — основний насос; *9* — прийомний резервуар.

Такі системи застосовують для змащення окремих машин, які потребують значної кількості масла не

тільки для змащення, але й для охолодження. Вони характеризуються невисоким постійним тиском у місць змащування (0,03–0,05 МПа) і посередньому очищенні масла.

Схема індивідуальної циркуляційної системи, що працює під заданим тиском, показана на рис. 6.7. Установка складається із насосу 8 (як правило для надійності роботи використовується ще і резервний насос), який подає масло з бака 7 через забірний пристрій 9 (рівень масла контролюється датчиком рівня) в напірну магістраль. Після запобіжного клапана 5 (підтримує необхідний тиск масла в системі) масло надходить в один із фільтрів 4 (використовується один, інший є резервним), потім в пристрій для охолодження (чи нагріву) масла 2 і в розподілювач-живильник 1. Контроль за тиском в системі здійснюється за допомогою манометрів 3 (в крупних системах застосовуються електронні манометри чи датчики, які видають електричний імпульс в автоматизовану схему підтримання заданих параметрів змащування).

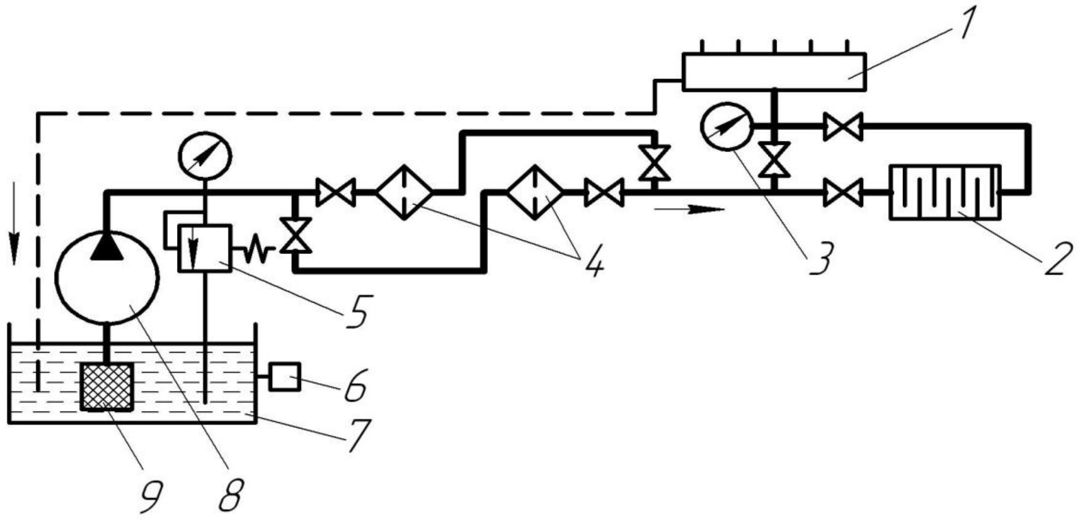


Рисунок 6.7
Схема індивідуальної циркуляційної системи рідинного змащування

Найбільш відповідальними механічними елементами централізованих змащувальних систем є: насоси, регулювальна та розподільна апаратура, фільтри. Сучасні системи оснащаються відповідною електронною технікою автоматичного управління.

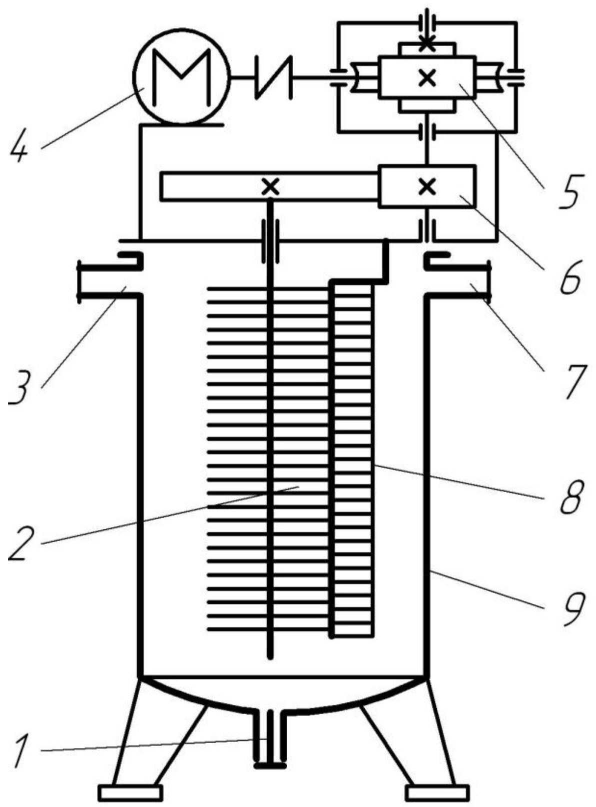
Для подачі масла в місця змащування використовуються різні типи насосів: шестерневі, радіально-поршневі, лопатеві і інші. На

сьогодні найбільш раціональними є застосування шестерневих насосів, як найбільш надійних в експлуатації. Продуктивність таких насосів складає від 5 л/хв до 1000 л/хв, тиск 2,5–32 МПа [14] .

Очищення масла віл сторонніх домішок здійснюється за допомогою фільтрів, які поділяються на сітчасті, пластинчасті, магнітні, дискові.

Сітчасті і магнітні фільтри в залежності від продуктивності і місця установлення поділяються на стаціонарні і лінійні. В свою чергу сітчасті фільтри поділяються на сітчасті касетні без пристроїв самоочищення, пластинчасті і дискові з самоочищенням. На рис. 6.8 показана принципова схема однопатронного пластинчастого фільтра.

Фільтр складається з патрона *8*, корпуса *9*, електродвигуна *4*, черв'ячного редуктора *5* і циліндричної зубчастої пари *6*. Фільтрувальний патрон *8* являє собою набір тонких дисків із сталі у вигляді колеса зі спицями товщиною 0,5 мм. Між дисками розташовані прокладки у формі зірочок товщиною 0,08; 0,12 чи 0,18мм. В одному патроні установлюють понад 530 дисків. Всі диски і зірочки посаджені на вал *2* прямокутного перерізу, який періодично обертається від електродвигуна *4* через черв'ячний редуктор *5* і зубчасту передачу *6* із швидкістю в межах 8 об/хв. В патроні є також пристрій для очищення дисків.



пластичного фільтра

Масло подається через патрубок *7*, проходить через зазори між дисками, заповнює патрон і через патрубок *3* надходить в нагнітальний трубопровід.

Механічні частини, що містить масло, якщо вони більші за установлений зазор, затримуються при вході в зазор між дисками. При обертанні патрона від двигуна, бруд, що осів між дисками, скидається ножами і падає на дно корпусу *9*, звідки віддаляється періодично через отвір *1*.

Продуктивність фільтрів серії ФПЖ в залежності від в'язкості масла складає від 80 до 1500 л/хв. при робочому тиску 0,5 МПа. Поряд з фільтрами використовуються і дискові фільтри серій ФДС і ФДЖ.

При невеликій продуктивності використовуються фільтри з ручним очищенням. Зокрема ті ж типи фільтрів, що і для гідросистем [14].

Магнітні фільтри (серія ФМР) застосовуються для попереднього очищення масла перед змиванням його в резервуари-відстійники, а також в якості лінійних — перед відповідальними вузлами тертя.

Застосовуються і інші типи фільтрів. Зокрема: всмоктувальні (установлюються у всмоктувальній лінії насосу), заливні (при заливанні масла в бак), сапун-фільтри (повітряний фільтр, що поєднує повітряну порожнину герметичного гідробака з навколишнім середовищем). Деякі типи фільтрів оснащуються індексацією забруднення.

До напрямної і регулювальної апаратури відносяться: розподілювачі потоку робочої рідини, зворотні клапани, гідрозамки, логічні гідроклапани, запобіжні і редукційні клапани, регулятори тиску і витрат, поділювачі і суматори потоку рідини та інші.

До засобів контролю і автоматичного управління відносяться: манометри звичайні, електроконтактні манометри, самописні манометри, датчики тиску, рівнеміри, термометри та інше.

5.2. Системи пластичного змащування

Ці системи поділяються на індивідуальні і централізовані.

В індивідуальних системах мастило подають у вузли тертя за допомогою ручних шприців, лубрикаторів. Ручними шприцами мастило подається через живильники з ручним переключенням на 2,4,6 чи 8 відводів. Місткість дозувальних камер живильників складає 0,5–2 см^3. Лубрикатори мають 8 чи 16 відводів і подають до 0,4 см^3 мастила за 1 хід плунжера під тиском 10 МПа.

Централізовані системи в залежності від типу повітря поділяються на ручні, електричні і пневматичні, а від способу розгалуження мастилопроводів і способів перекидання подачі мастила із однієї магістралі в іншу — на кінцеві (СК) і петльові (СП).

Петльові системи застосовуються у випадках, коли обладнання, що підлягає змащенню, розташоване на невеликій відстані один від

іншого, тобто при його кучному розташуванні, чи при обслуговуванні обладнання з дуже частою подачею мастила (15–30 хв).

Системи кінцеві застосовують переважно у тих випадках, коли обладнання розташовується лінійно на ділянках великої протяжності.

Станції з пневматичним приводом використовують, головним чином, при подачі в розпиленому стані графітного мастила.

РУЧНІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ

Основними елементами цих систем (рис.6.9) є заправочна станція (насос) *1*, змащувальна станція *2*, фільтри *3* (сітчасті), призначені для відділення механічних домішок, манометр для контролю роботи системи, живильники *5*. Змащувальна станція з ручним насосом заправляється пластичним мастилом за допомогою заправочної станції, яка може бути з ручним, пневматичним чи електричним приводом. Наприклад, станція ЗАП-2500 має пневматичний привод (подача 0,3–2,5 л/хв), а станція СЦЗ-63 — з електричним приводом (подача 6,3 л/хв).

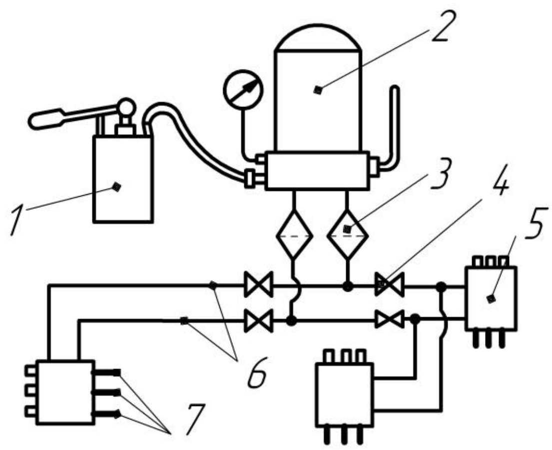


Рисунок 6.9
Схема ручної централізованої системи змащування

Мастило надходить до живильників *5* по магістральним трубопроводам *6*, а до точок змащування — по трубопроводам *7*.

В окремих випадках (при необхідності, в систему входять розподілювачі потоку мастила).

ПЕТЛЬОВІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ

Схема системи петльового типу представлена на рисунку 6.10. Вона складається із станції 1, що заправляється через зворотній кла-

пан 2, відсічний золотник 3 і магістраль 4 від заправочної станції, командоапарата 15, реверсивного розподілювача 7, сітчастих фільтрів 8, чотирьох магістральних трубопроводів 9, розподільчих золотників 12 з електромагнітним управлінням, відвідних трубопроводів 10, живильників 11.

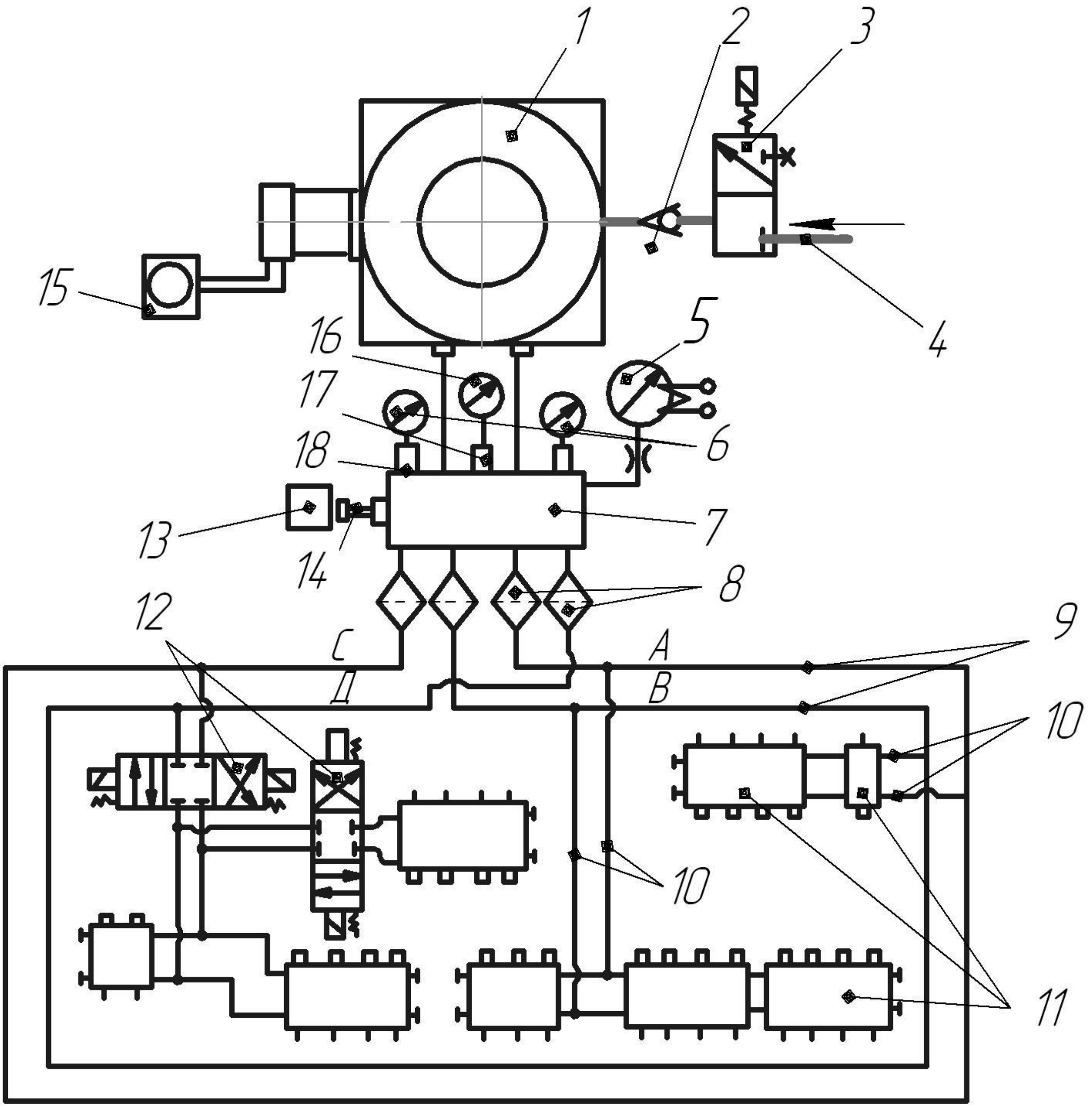


Рисунок 6.10
Схема петльової централізованої системи змащування

Ознайомленню з принципом дії мастильної системи в цілому має передувати ознайомлення з будовою і роботою її головних складових: реверсивного розподілювача 7 і живильників 11.

Розподілювач займає проміжне положення між насосом і магістральними лініями 9. В передній стінці розподілювача є чотири різьбові отвори: двоє з них слугують для приєднання головних трубопроводів, а двоє інших — для приєднання магістралей повороту. Всього в корпусі розподілювача мається сім різьбових отворів для з'єднання із зовнішніми комунікаціями.

В задній стінці передбачено отвір для приєднання до насосу і отвір, що з'єднує розподілювач з резервуаром. На боковій стінці є отвір, до якого приєднується самописний (електронний) манометр 5.

Зверху корпусу установлено три манометри 6, 16. Для погашення пульсації стрілок манометрів застосовуються демпферні перехідники. Манометри 6 слугують для показань тисків в магістралях повороту. Ці ж тиски регулюються перепускними клапанами 18, установленими поряд з манометрами. Для контролю тиску потоку мастила при вході його в розподілювач із насосу на середині корпусу розподілювача розташований манометр 16 і спарений з ним запобіжний кульковий клапан 17. Всередині корпусу розподілювача розташовуються рухомі золотники (скалки): робочий і розподільний. До зовнішнього кінця робочого золотника прикріплений шток 14, з'єднаний з кінцевим вимикачем 13.

Живильники слугують для відміру, подачі і контролю за подачею мастила до вузлів тертя. Живильники дволінійних систем спрацьовують при тиску не менше 1,5 МПа. В залежності від кількості приєднуваних вузлів тертя розрізняють живильники одно-, дво-, три- і чотиривідвідні (ПД1 — одновідвідні; ПД2 — двовідвідні; ПД3 — тривідвідні; ПД4 — чотиривідвідні). На рис. 6.11 показане застосування саме цих живильників. Всі вони відносяться до дволінійних типів, тобто вони приєднуються до двох магістралей, через які поперемінно подається мастило. На рисунку ці магістралі позначено буквами «А» і «В». Живильник складається із сталевого корпусу, в якому для кожної точки змащування передбачно дві камери — дозувальна 2, в якій переміщується поршень 3 зі штоком 4, і золотникова із ступінчастим золотником 1. Дозувальна камера відміряє порцію мастила (дещо може корегуватись), а золотникова проштовхує мастило до вузла тертя.

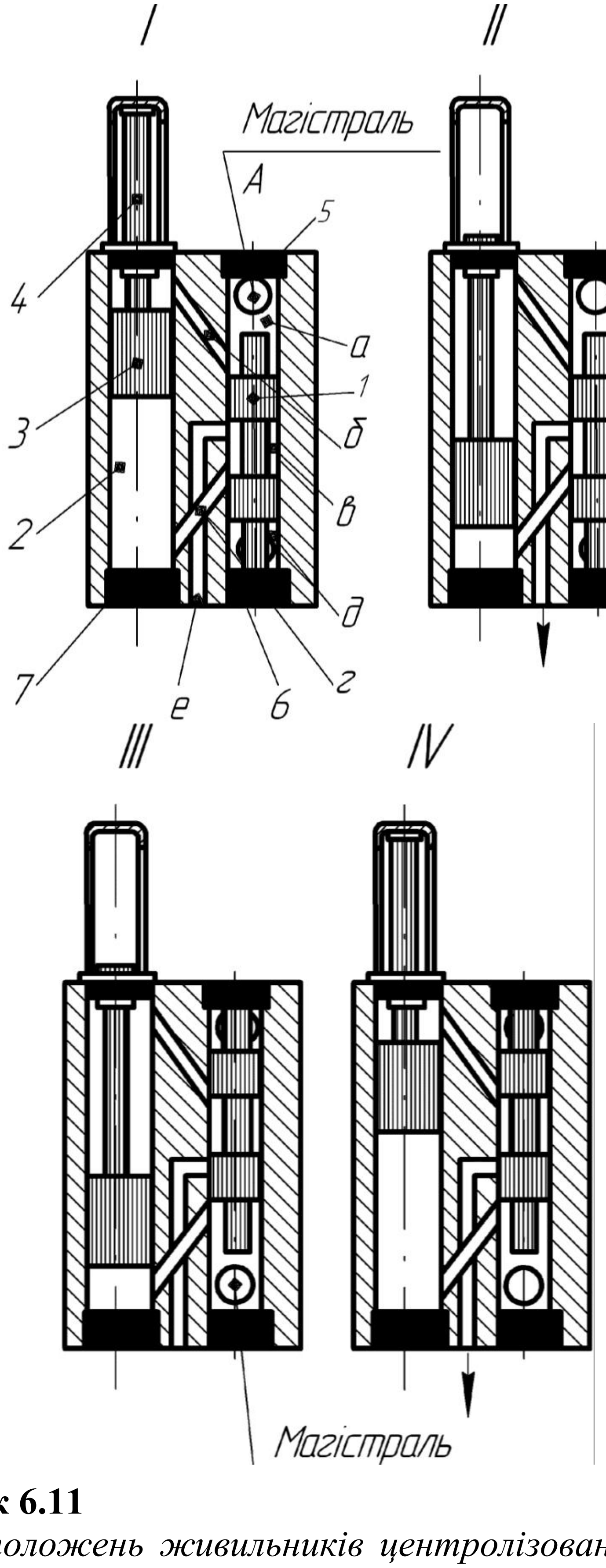


Рисунок 6.11

Схема положень живильників центролізованих систем змащування

На рисунку показано чотири положення живильника, при яких камери і всі канали заповнені мастилом, тобто живильник перебуває в робочому стані. В положенні І мастило в живильник подається по магістралі А. При цьому під тиском мастила золотник 1 опускається вниз до упора в пробку 6, що відкриває доступ мастилу спочатку в камеру ***а***, а потім по каналу ***б*** в надпоршневу порожнину дозувальної камери 2, що переміщує поршень 3 вниз до упора в пробку 7. Під дією поршня 3 мастило, що залишилось в підпоршневій порожнині дозувальної камери від попереднього циклу, виштовхується в камеру ***в*** між двома пружинами золотника 1 і звідти по каналу ***е*** надходить до вузла тертя (див. положення ІІ).

При наступному циклі (положення ІІІ) мастило нагнітається по магістралі В і золотник 1 переміщається вгору до упора в пробку 5, що відкриває доступ мастилу в камеру ***д***, а звідти воно по каналу 2 надходить в підпоршневу порожнину дозувальної камери 2. При цьому порція мастила, що залишилась в надпоршневій порожнині дозувальної камери від попереднього циклу, виштовхується по каналу ***е*** до того ж вузла тертя (див. положення IV).

Поршень 3 дозувальної камери 2 і золотника 1 переміщується під впливом різниці тисків напірної і розвантажної магістралей.

Як видно з рис. 6.10 від реверсивного розподілювача відходять чотири магістральні трубопроводи 9, що утворюють дві замкнені петлі, до яких приєднано через відвідні трубопроводи 10 живильники 11, що живлять мастилом вузли тертя. Деякі із живильників приєднуються до магістралі через розподільчі золотники 12, що передбачено для вузлів тертя, які потребують більш рідкої подачі до них мастила. Кожна складається із вихідної (магістралі А, В) і зворотної (магістралі С, Д) ділянок.

Через певні, раніш встановлені проміжки часу командний апарат 15 включає електродвигун плунжерного насосу маслостанції, яка нагнітає мастило через розподільник 7 і сітчастий фільтр 8 до живильників 11 по одній із магістралей А чи В. Під тиском мастила всі дозувальні живильники розпочинають спрацьовувати і подавати мастильний матеріал в точки живлення. Після спрацьовування всіх живильників тиск швидко зростає як в нагнітальній магістралі (наприклад, А), так і в з'єднаній з нею зворотній магістралі (наприклад, С). Як зворотня магістраль С, так і зворотня магістраль Д, слугують для пе-

ремикання розподілювача 7 і вороття мастила в резервуар при досягненні в системі максимального робочого тиску. На шляху до резервуару мастило проходить через розподілювач 7 і перемикає його на іншу нагнітальну магістраль (наприклад, В) для наступного циклу роботи станції. Одночасно з цим розподілювач 7 через кінцевий вимикач 13 вимикає електродвигун насосу.

Для підігріву мастила в зимовий період (якщо є в цьому потреба) передбачається обігріваюча магістраль, яка розташовується між мастильними магістралями. При застосуванні окремих мастил, що мають значно нижчу температуру застигання, ніж можлива температура навколишнього середовища, підігрів не використовується.

Недоліком петльових систем вважаються великі витрати магістральних трубопроводів через наявність зворотних ліній, а перевагою — легке налагодження завдяки відсутності кінцевого вимикача в кінці магістралі і висока надійність її роботи.

КІНЦЕВІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ

Кінцеві системи мають з петльовими багато спільного стосовно контрольно-вимірювальних приладів, апаратури і арматури. Відрізняються ж вони будовою розподілювача і наявністю клапана тиску КДГ, а також електричними схемами і електрообладнанням.

Ці системи застосовують для змащування обладнання, розташованого лінійно на ділянках великої протяжності, що характерно саме для металургійного обладнання. В них більш проста розводка труб головної магістралі завдяки тому, що тут не потрібні зворотні лінії, як це має місце в петльових системах.

Дволінійна кінцева система (рис. 6.12) складається із мастильної станції 1, яка заправляється мастилом через зворотній клапан 2, відсічний клапан 3, трубопровід 4 від заправочної станції, розподілювача 6, оснащеного самописним (електронним) манометром 5 і регулятором тиску 8, командного апарату 9, магістральних трубопроводів 10, відвідних трубопроводів 11, живильників 12, клапанів тиску 13 і розподілювачів 14.

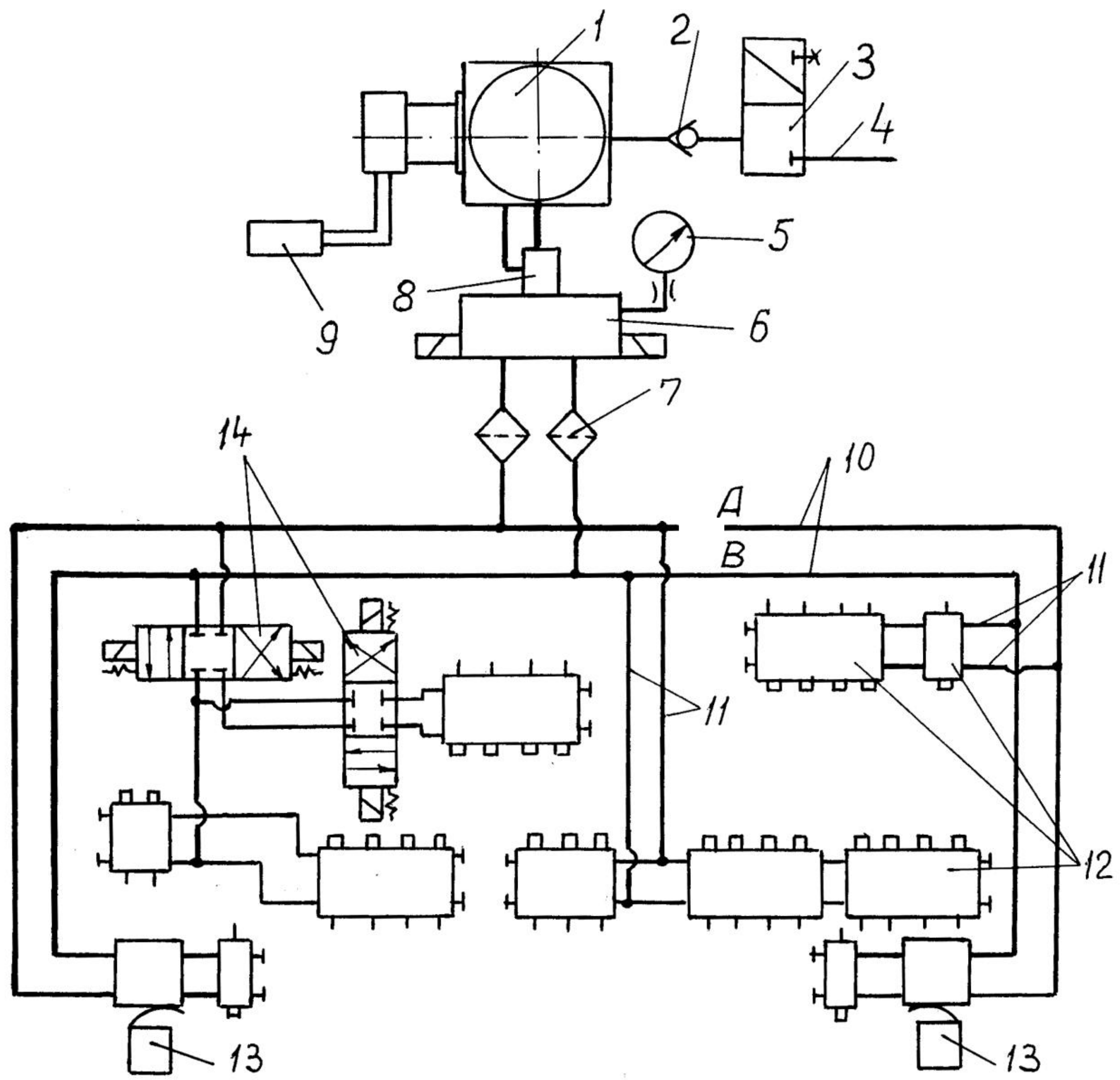


Рисунок 6.12
Схема кінцевої централізованої системи змащування

Станція працює наступним чином. Насос нагнітає мастило через розподілювач 6 і фільтр 7 в одну з двох магістралей (А чи В). Після спрацьовування всіх живильників кінцевий клапан тиску 13 (спрацьовує при тисках мастила від 2,0 до 7,0 МПа), діючи на вимикач, установлений на станції 1, вимикає електродвигун насосу і замикає електричний ланцюг одного із електромагнітів розподілювача 6, що при черговому вмиканні електродвигуна направить потік мастила до живильників по іншій магістралі (наприклад, замість магістралі А по магістралі В). Тобто, принцип дії кінцевої системи, як і петльової, по-

будований на імпульсній (порційній) подачі мастила при черговому порядку змінення магістралей нагнітання.

Регулятор тиску 8, що установлений на розподілювачі 6, налаштовується на тиск 22,0 МПа. При перевищенні цього тиску мастило відтискає кульковий затвор клапана і без надходження в магістраль повертається в резервуар станції.

5.3. Мастильні системи «масло-повітря»

Система «масло-повітря» є значно ефективнішою наступницею системи масляного туману (СМТ) і створена у 80-тих роках.

Принцип дії систем «масло-повітря» побудовано на подачі до вузлів тертя повітряно-мастильної суміші. Головними складовими таких систем є джерело стисненого повітря, модуль підготовки повітря (віддаляння вологи, сушіння, очищення), мастильна станція, модуль (блок) живильників, труборозводка.

Розробка цих систем була викликана необхідністю підвищити якість і надійність змащування опор, що обертаються з великою швидкістю, а також вузлів тертя, що функціонують в умовах інтенсивного запилення, високих температур, ударних навантажень, з великою ймовірністю попадання в місця тертя бруду, охолоджуваної рідини і інших шкідливих компонентів, які підвищують знос.

Для здійснення цього методу змащування на сьогодні розроблено ряд мастильних станцій, структура яких враховує індивідуальні особливості об'єктів змащування (млини, кліті прокатних станів, крупногабаритні відкриті зубчасті передачі). Зокрема розроблено мастильну систему млинів типу МШР, МСЦ (рис. 6.13) і мастильну систему трубопрокатних станів (рис. 6.14).

Мастильні станції забезпечують автоматичну періодичну подачу мастильного матеріалу до блоків масляно-повітряних живильників і контроль за роботою всієї системи. Споживана потужність станцій в режимі підігріву мастильного матеріалу — 560 Вт, в режимі без підігріву — 10 Вт.

Комплектуються станції основними і резервними масляними насосами з пневмоприводом. Працюють станції на чистому мінеральному маслі в'язкістю ISO VG 100…680 і вище при температурі на-

вколишнього середовища від $-10^{\circ}C$ до $+60^{\circ}C$. Клас чистоти мінеральних масел не нижче 14. Станції мають забезпечуватись стисненим повітрям з номінальним тиском 0,25–0,63 МПа класу чистоти не нижче 12 (ГОСТ 17433-80), що відповідає вмісту твердих часток не більше 12,5 мг/м^3 і води не більше 3200 мг/м^3.

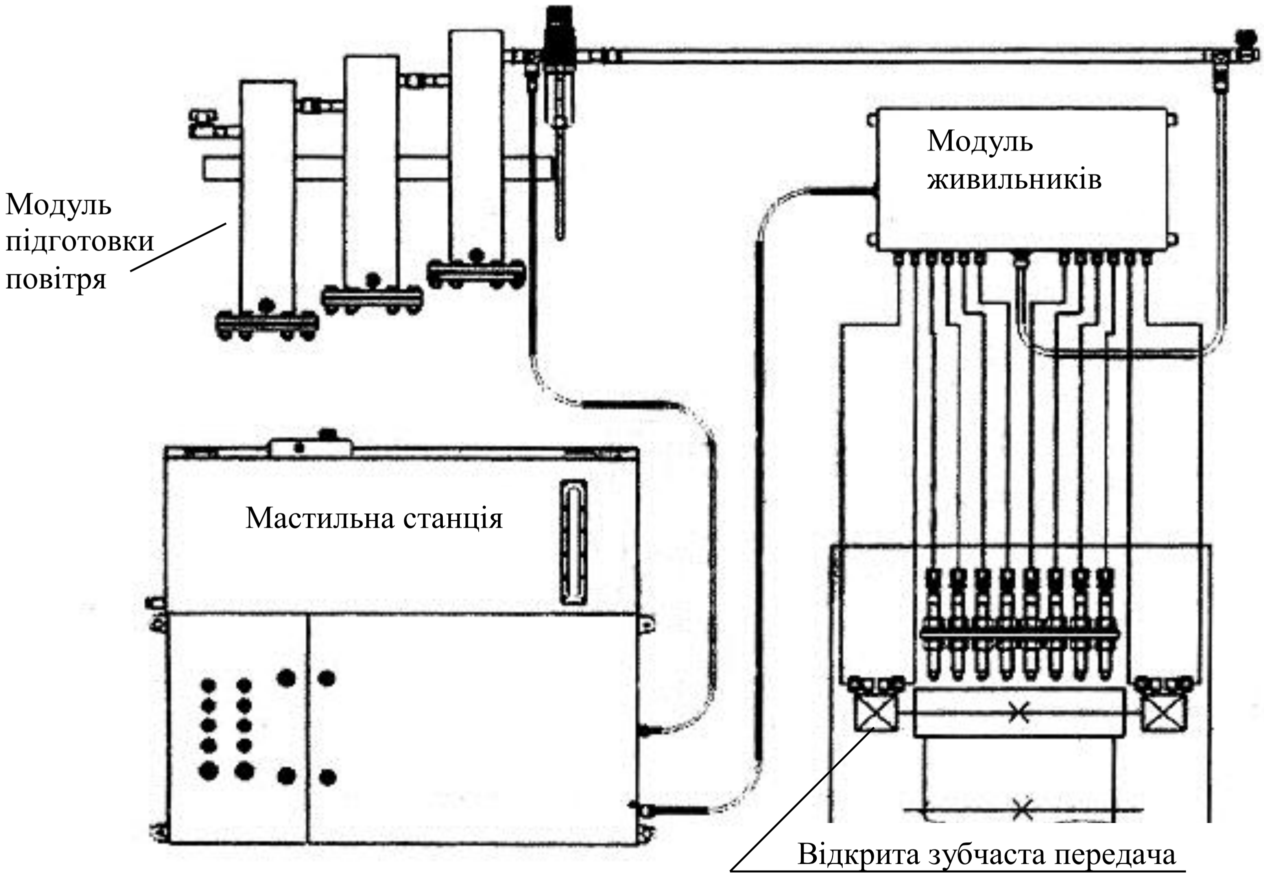


Рисунок 6.13
Схема мостильної системи «масло-повітря» млинів типу МШР

Сфера застосування систем змащення «масло-повітря» може поширюватись практично на будь-який тип змащуваної поверхні. Особливо такі системи, як вважають розробники, ефективні для змащування підшипникових вузлів прокатних станів, рольгангів, установок неперервного розливання сталі, елементів зубчастих передач та інших об’єктів з важкими умовами експлуатації, великими витратами пластичного мастила.

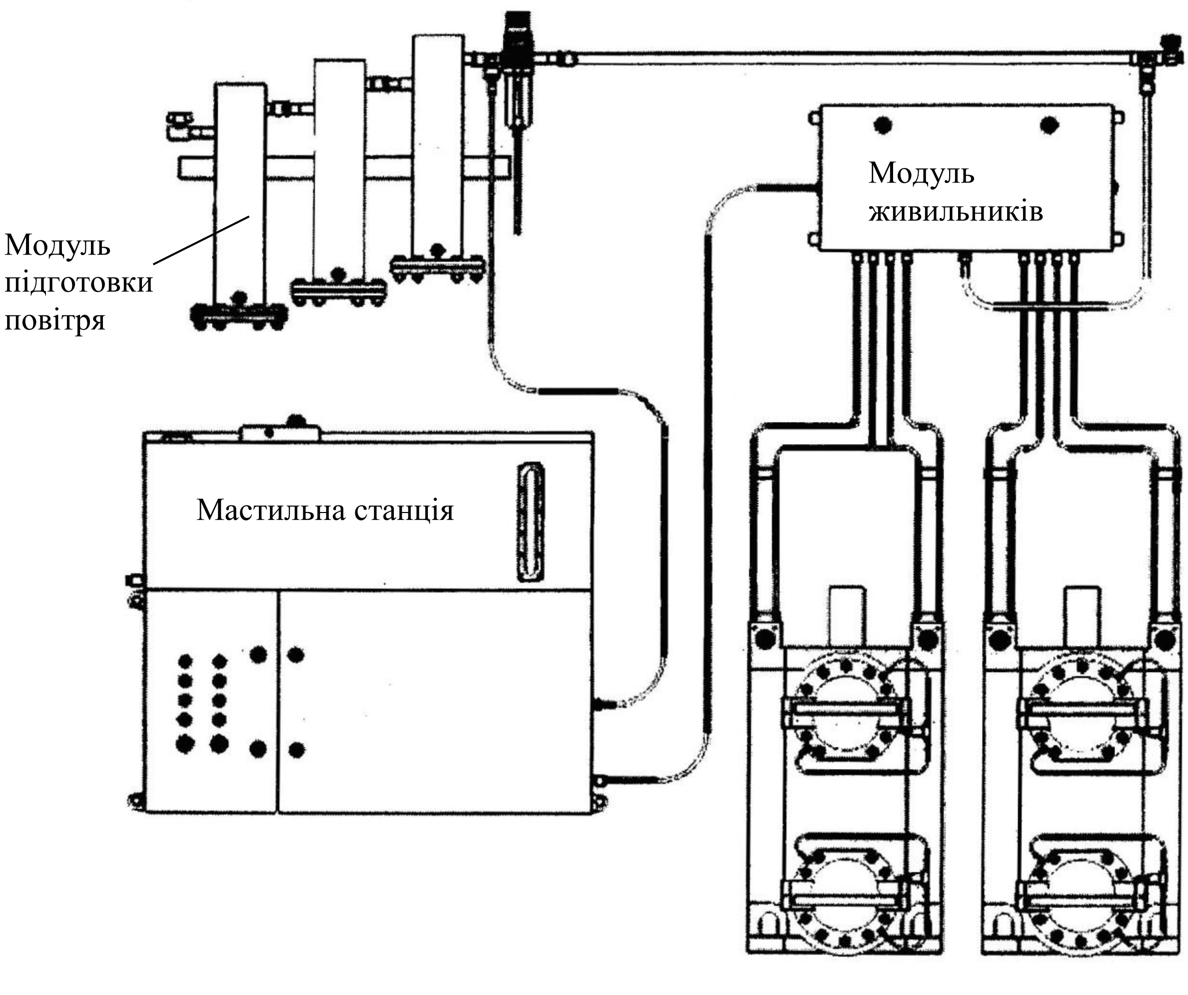


Рисунок 6.14

Схема мостильної системи «масло-повітря» трубопрокатних станів

Короткі технічні характеристики деяких систем наведено нижче.

	2СП-2П	5СП5-2П	АМВ60ПМ
Номінальний тиск нагнітання, МПа	3,2–8,0	3,2–8,0	3,2–10
Номінальний робочий об'єм подачі мастильного матеріалу, $см^3$/цикл	4,48	5,0	60,0
Габаритні розміри, мм	1016×814×275	1016×814×275	744×1190×576

Блоки живильників мастильних систем «масло-повітря» призначені для точно дозованої неперервної подачі мастильного матеріалу до вузлів тертя стисненим повітрям в централізованих мастильних системах металургійного обладнання, верстатів, інших машин і механізмів різних галузей промисловості.

В блоках живильників передбачено регулювання об'єму подачі мастильного матеріалу і витрат стисненого повітря. Вони можуть ефективно працювати при температурі навколишнього середовища від –10 °С до +60 °С на чистому мінеральному маслі в'язкістю ISO VG 100…680 і вище. Зовнішній вигляд блоків живильників показано на рис. 6.15.

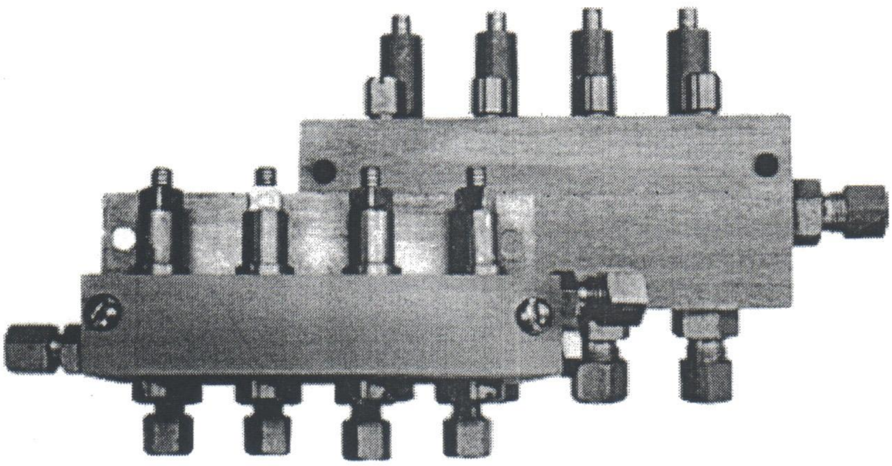


Рисунок 6.15
Блоки живильників мостильних систем «масло-повітря»

Технічні характеристики

	БПМВ 50	БМВ 12
Тиск мастильного матеріалу на вході в блок живильників, МПа	2,5–6,3	2,5–6,3
Кількість відводів виходу мастильного матеріалу	1;2;3;4	1;2;3;4
Подача мастильного матеріалу в один відвод, см^3/цикл	0,5	0–0,12
Діапазон тиску повітря, МПа	0,2–0,63	0,2–0,63
Габарити (для 4-хвідвідного блоку), мм	212×138×54	188×82×53

5.4. Системи мастильні плівкові

Системи мастильні плівкові (ССП) є продовженням удосконалення систем під загальною назвою «oil-air» («масло-повітря») і створена в 90-тих роках. На сьогодні ці системи досягли досконалого стану. Провідним підприємством на теренах України по виготовленню ССП є Миколаївський завод мастильного і фільтрувального обладнання (відкрите акціонерне товариство) (МЗМФО).

ССП не є масляним туманом і не «масло-повітря», оскільки вона створена на заміну їм і має низку незаперечних переваг, особливо в аспекті широти застосування, контролю екологічної безпеки. ССП подає строго дозоване змащення у вигляді неперервної масляної плівки (не масляного аерозолю, як при масляному тумані і не крупнодисперсних крапель, як при «масло-повітря») на бігові доріжки і тіла кочення підшипників змащуваних вузлів.

Принципова схема ССП показана на рис. 6.16, коли здійснюється змащування підшипників кочення. Згідно зі схемою в генератор створення масляної плівки подається масло і стиснене повітря. На виході генератора дозовані порції мастила утворюють неперервну масляну плівку, яка за допомогою потоку повітря по внутрішнім стінкам трубопроводу лінії подачі переноситься безпосередньо до змащуваних поверхонь.

Таким чином, на виході лінії подачі утворюється неперервна масляна плівка, яка рівномірно, шаром оптимальної товщини, переноситься на змащувані поверхні. Регулюванням величини доз подаваного масла і витрат повітря вибирається оптимальний режим змащування незалежно для кожного вузла тертя.

Важливою рисою ССП є також і те, що стиснене повітря створює всередині підшипникового вузла збитковий тиск, який запобігає попаданню на змащувані поверхні сторонніх частинок і речовин, і охолоджує вузли тертя.

В порівнянні з «масляним туманом» використання ССП збільшує термін служіння вузлів тертя в 1,5–2 рази. При цьому досягається надзвичайно велика економія мастильних матеріалів. Їх витрати в 15–30 разів менше, ніж при традиційному змащуванні, і в 5 разів менше, ніж при «масляному тумані». Якщо мастило при високих температурах (лінії неперервного розливання сталі, рольганги станів, печей,

стани гарячої прокатки, трубопрокатне, металорізальне обладнання і інше) коксується, то неперервно висока швидкість подачі мастила в ССП усуває цей негатив.

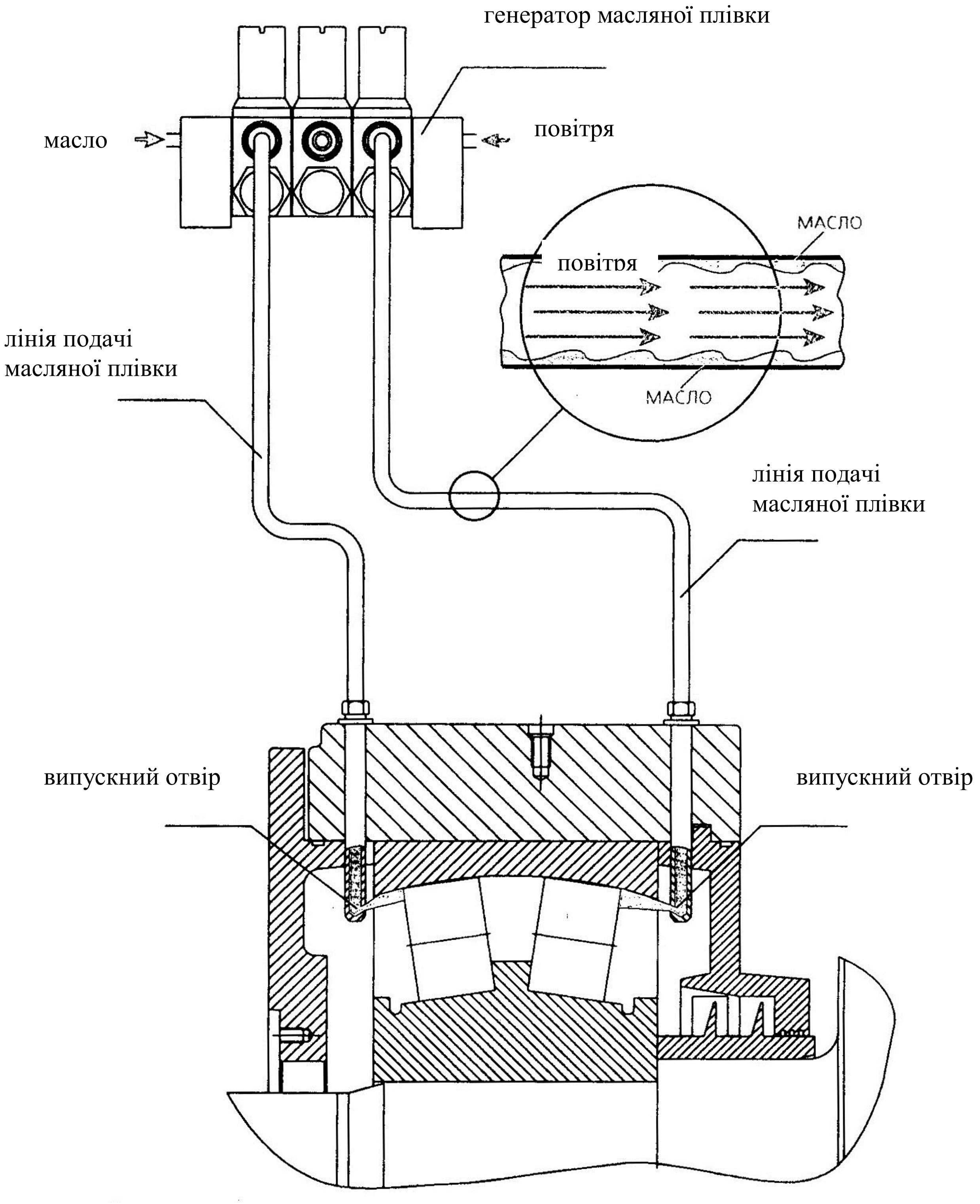


Рисунок 6.16
Принципова схема ССП

МЗМФО виготовляє різні за призначенням ССП: ССПЕ; ССПГ; ССПП; ССПМ; ССПР та інше обладнання. Принципова гідропневматична схема ССП з електроприводом (типа ССПЕ) показана на рис. 6.17. ССП складається з модуля управління і контролю 1, мастильного модуля 2, модуля підготовки повітря 2, модуля розподілення і контролю 4, генератора масляної плівки 5, трубопроводів і з'єднувальної арматури.

ССП працює наступним чином: при подачі живлення на пульт 1.1 загоряється лампочка (380В). Тумблером вмикається прилад управління, подається живлення на електродвигун станції, яка приводить в дію масляний насос 2.1, масло від станції надходить до модуля розподілення і контролю 4. Як тільки живильник зробить повний цикл, від датчика циклів 4.1 надходить сигнал в пункт управління, і вимикається насос 2.1. Центральний живильник розподіляє надійшовший в нього об'єм масла і подає дози масла до генераторів масляної плівки 5. Повітря із цехової магістралі додатково очищується в модулі підготовки повітря 3, подається в генератори масляної плівки 5, які подають масляну плівку до точок змащування. Після витримки заданої паузи в часі цикл повторюється.

Технічні характеристики ССП

1. Тиск мастильного матеріалу на вході в точки змащення, МПа:
   — мінімальний — 0,05
   — номінальний — 0,63
2. Діапазон подач мастильного матеріалу в точки змащування, $см^3$/цикл — 0,08–19,2
3. Кількість точок змащування, шт — 1–3000
4. Діапазон регулювання тривалості пауз, хв — 0,5–512
5. Тиск стисненого повітря, МПа — 0,05–0,63
6. Тиск спрацьовування датчика стисненого повітря, МПа — 0,05–0,5
7. Робочий тиск в гідропневмоприводі, МПа:
   — мінімальний — 0,5
   — номінальний — 6,3

Системи ССП працюють на мінеральних маслах з кінематичною в'язкістю не нижче 17 $мм^2$/с при температурі навколишнього середовища від 1 до 60°С. При цьому в стисненому повітрі не повинна бути волога.

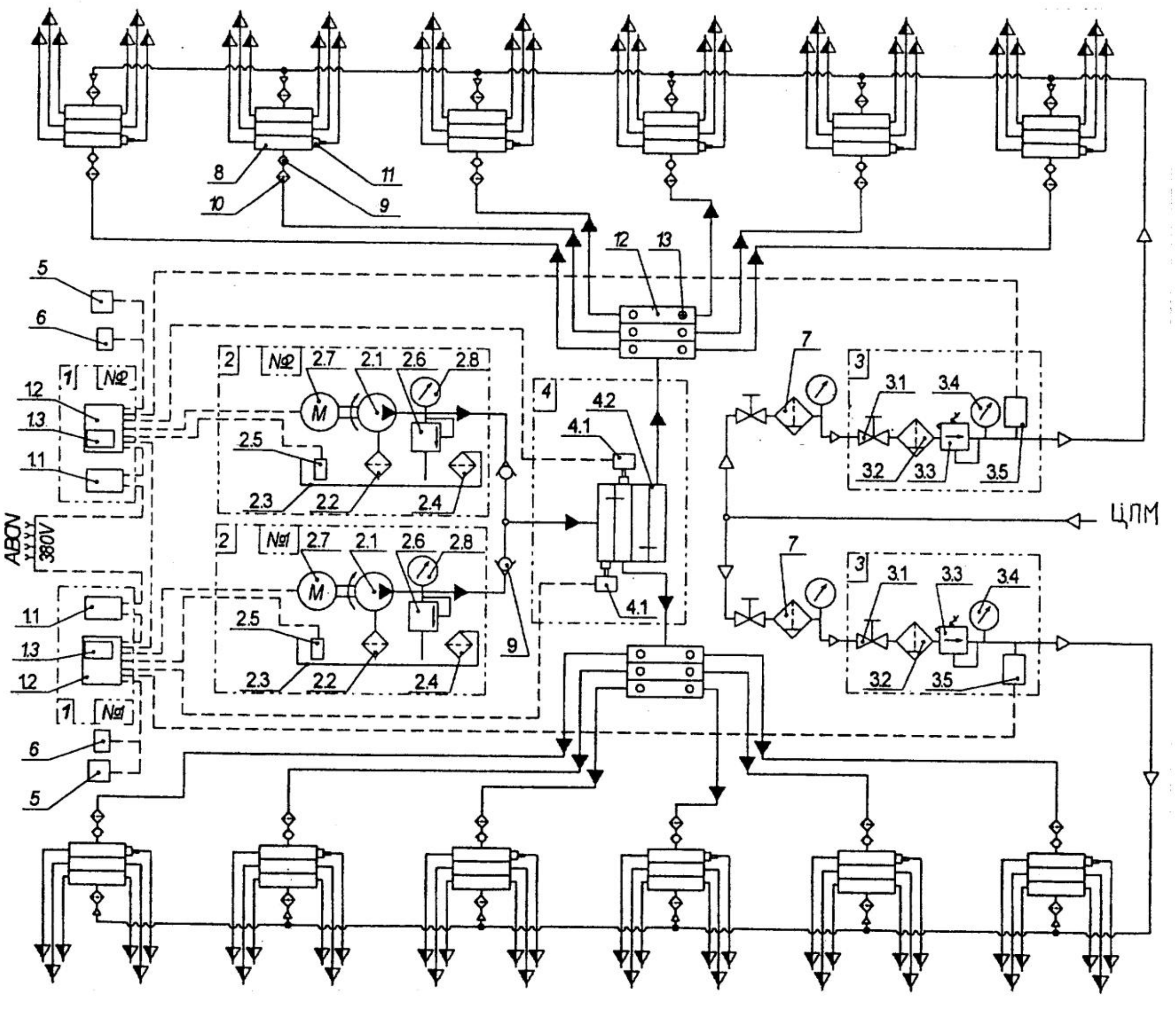


Рисунок 6.17
Принципова гідро-пневматична схема ССП з електроприводом

1 — модуль управління і контролю; 1.1 — автовимикач; 1.2 — електрошафа; 1.3 — блок управління; 2 — мастильний модуль; 2.1 — насос; 2.2 — всмоктувальний фільтр; 2.3 — бак; 2.4 — заливний фільтр; 2.5 — реле рівня; 2.6 — запобіжний клапан; 2.7 — ел. двигун; 2.8 — манометр; 3 — модуль підготовки повітря; 3.1 — кран; 3.2 — фільтр-відстійник (вологовідділювач); 3.3 — редуктор; 3.4 — манометр; 3.5 — датчик тиску; 4 — модуль розподілення; 4.1 — датчик циклів; 4.2 — центр.живильник; 5 — сигналізація; 6 — світлосигнальний блок; 7 — вологовідділювач; 8 — генератор масляної плівки; 9 — зворотній клапан; 10 — фільтр; 11 — датчик контролю; 12 — живильник; 13 — індикатор блокування лінії.

трубопровід масла
трубопровід плівки
трубопровід повітря
електричні з'єднання

6. РОЗРАХУНКИ ПОТРЕБ У МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ

6.1 Розрахунки для картерних систем рідинного змащення

Щоб ефективно використовувати картерну систему рідинного змащування, необхідно витримувати 2 умови:

По-перше. Швидкість колеса не повинна бути вище 10 м/с.

По-друге. Кількість тепла Q_1, що виділяється під час тертя, не повинна перевищувати кількість тепла Q_2, що може бути відведен в навколишнє середовище без примусового охолодження.

Швидкість колеса розраховують за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60},$$

де d — діаметр колеса, м;

n — швидкість обертання колеса, хв$^{-1}$.

Кількість тепла, що виділяється під час тертя, визначається за формулою:

$$Q_1 = 860(1-\eta) \cdot N \cdot 4{,}1868 \text{ [кДж/годину]}, \qquad (6.1)$$

де η — коефіцієнт корисної дії;

N — потужність, що передається через колесо, кВт.

Кількість тепла, що може бути відведена в навколишнє середовище, визначається за іншою формулою:

$$Q_2 = k(t_М - t_П) \cdot A \text{ [кДж/годину]}, \qquad (6.2)$$

де k — коефіцієнт, який приймають в діапазоні 31,3–62,8 кДж/год$\cdot$м$^2 \cdot$град;

$t_М$ — допустима температура нагріву мастила, °С;

$t_П$ — температура навколишнього середовища (повітря), °С;

A — площа поверхні охолодження, м^2.

Перевіривши виконання вищенаведених умов, розраховують величину умовної в'язкості:

$$°ВУ_{50}^{\min} = \frac{g \cdot m}{20}, \qquad (6.3)$$

де m — коефіцієнт, що залежить від швидкості обертання колеса (m=1,6 при V≤8м/с, m=1,2 при V=8–10м/с — для картерної та циркуляційної систем; m=1,0 при V=16–25м/с — тільки для циркуляційної системи);

q — навантаження на одиницю довжини зуба, кН/м.

$$q = \frac{1000 \cdot N}{V \cdot B}, \qquad (6.4)$$

де N — потужність, кВт;

V — швидкість обертання колеса, м/с;

B — ширина зуба, мм.

За обчисленою величиною умовної в'язкості з нижченаведеної таблиці визначають кінематичну в'язкість і за нею вибирають необхідну марку мастила [7].

Умовна в'язкість, °ВУ	100	70	50	30	10	6	4	2	1,5
Кінематична в'язкість, мм²/с	720	500	360	220	70	41	28	11	7,8

В інших джерелах інформації для визначення кінематичної в'язкості через умовну пропонується користуватись формулою:

$$\nu = 7{,}58 \cdot {}^\circ ВУ \qquad (6.5)$$

Кількість мастила, що необхідно залити в картер, обчислюється за умови занурення зубця в мастило та через потужність, що передається колесом:

$$G = (h_1 - h_2) \cdot F_0 \ (\text{дм}^3), \qquad (6.6)$$

де h_1 — глибина занурення зубця колеса, дм;

h_2 — відстань від дна картера до колеса, яке забезпечує змащування, дм;

F_0 — площа картера, дм^2.

Розраховують також G і за іншою формулою:

$$G=(0,3\ldots0,5)\cdot N, \qquad (6.7)$$

де N — потужність , що передається , кВт.

З двох значень G вибирається більше.

6.2. Розрахунки для циркуляційної системи рідинного змащування

Згідно з пунктом 6.1, якщо дві умови не витримуються, то необхідно використовувати циркуляційну систему рідинного змащення.

В першу чергу розраховується кількість мастила, яке необхідно підвести до вузла. Це здійснюється за наступною формулою:

$$P = \frac{Q_1 - Q_2}{\xi \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta T} \ [\text{дм}^3/\text{годину}], \quad (6.8)$$

де ξ — коефіцієнт використання мастила (0,5…0,8);

c — теплоємність мастила (1,675…2,093 кДж/кг·град);

γ — питома вага мастила (0,9 г/см^3; кг/дм^3; т/м^3);

ΔT — допустиме підвищення температури мастила (5…8 °С).

В деяких випадках кількістю тепла, що може бути відведено до навколишнього середовища, ігнорують (тобто не ураховують). Тоді для обчислення кількості тепла, що необхідно підвести в одиницю часу до вузла тертя, використовують наступну формулу:

$$P = \frac{Q_1}{\xi \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta T} \ [\text{дм}^3/\text{годину}], \quad (6.9)$$

Експериментальним шляхом установлено, що:

- на один кіловат потужності (N) використовується 5…6 дм^3/хв;
- на 100 мм ширини зубця необхідно 4…6 дм^3/хв;
- $P=(0{,}006 \cdot N+3) \cdot 4{,}564$ дм^3/хв.

6.3. Розрахунки потреб в пластичному мастилі

На даний час відсутня більш-менш точна методика визначення цих потреб, тому кількість мастила і періодичність його подачі визначають шляхом підбору.

Орієнтовано кількість мастила можна визначити за наближеною формулою:

$$q=11 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \left\lfloor \frac{\text{см}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{годину}} \right\rfloor, \quad (6.10)$$

де q — кількість мастила ($см^3$), яку треба подавати щогодини на $1м^2$ поверхні тертя;

11 — мінімальна норма витрат мастила для підшипників діаметром до 100мм при частоті обертання, що не перевищує $100хв^{-1}$;

k_1 — коефіцієнт, що враховує залежність витрати мастила від діаметра підшипника,

k_1=1+4(d–100)·10^3 (для підшипників ковзання);

k_1=1+(d–100)·10^3 (для підшипників кочення);

k_2 — коефіцієнт, що враховує залежність витрат мастила від числа обертів підшипника;

k_3 — коефіцієнт якості поверхонь тертя (при якісній k_3=1, при задовільній k_3=1,3);

k_4 — коефіцієнт, що враховує робочу температуру нагріву підшипника (при температурі, нижчій за 75°, k_3=1, при температурі 75–150°C k_3=1,2);

k_5 — коефіцієнт, що враховує ступені навантаження підшипника.

При нормальному навантаженні k_5 =1, при важкому — k_5 =1,1.

Числові значення коефіцієнта k_2 наступні:

Швидкість обертання, $хв^{-1}$	100	200	300	400
Коефіцієнт k_2	1,0	1,4	1,8	2,2

При визначенні кількості мастила для змащення плоских поверхонь (наприклад, напрямних) останні вважаються умовними підшипниками ковзання з діаметром, який визначається за спрощеною формулою:

$$D_y = \frac{L}{\pi}, \qquad (6.11)$$

де L — довжина плоскої напрямної з умовним циклом обертів

$$n_y = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_y}, \qquad (6.12)$$

де V — швидкість ковзання, м/с.

7. ТЕРМІНИ СЛУЖІННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЇХ ОЧИЩЕННЯ ТА РЕГЕНЕРАЦІЯ

Термін служіння мастильних матеріалів залежить від швидкості їх старіння і накопичення такої кількості шкідливих домішок, при якій мастило втрачає свої мастильні властивості.

Суть процесу старіння масел полягає в окисленні киснем повітря складових його вуглеводів з утворенням розчинних кислот і шламу (смолистих осадків). Органічні кислоти викликають корозію металів і утворення металевих мил. Шлам, який осідає в апаратурі і на стінках трубопроводів, погіршує нормальну циркуляцію масла і вимагає, ясна річ, підвищення тиску в системі.

Швидкість утворення в мастильному матеріалі продуктів старіння залежить від наступних факторів:

- степеню дії кисню і вологи повітря і можливості попадання в масло води;
- дії високих температур, що викликають розпад, випаровування і часткове згоряння масел;
- забруднення механічними домішками (окалиною, продуктами зносу поверхонь тертя, пилом і інш.).

Основними фізико-хімічними показниками старіння мастильних матеріалів є підвищення в'язкості і складу органічних кислот, утворення осадків, наявність води і механічних домішок. Факторами, що прискорюють окислення масел є їх температура та контактування з бронзовими чи латунними деталями.

Терміни служіння масел і необхідність їх регенерації визначаються в кожному конкретному випадку шляхом періодичного відбору і дослідження проб. Так, наприклад, в централізованих системах, що обслуговують відповідальні вузли тертя (підшипники рідинного тертя та інше), рекомендуєть-ся відбирати проби через кожні 5 діб. Для менш відповідальних механізмів (редукторів) проби належить відбирати раз в 15 діб. В картерних системах достатньо відбирати проби одну чи дві на місяць [16].

Довголітньою практикою установлено, що масло слід замінювати, якщо виявлено зростання одного із вказаних нижче факторів.

Для циркуляційних систем (з урахуванням наступної регенерації):

▪ підвищення кінематичної в'язкості масел більш, ніж на 30%;

▪ зростання кислотного числа до 3 мг КОН на 1г масла (під кислотним числом припускають кількість їдкого калія (КОН) в мг, необхідного для нейтралізації 1г мінерального масла);

▪ вміст води більше 0,2% (масло з 0,2% піддається центрифугуванню без зливання із системи);

▪ вміст механічних домішок неабразивного характеру (шлам, пластичне мастило) більш 1%.

Для картерних систем (без урахування наступної регенерації масла):

▪ зростання кислотного числа до 5 мг КОН на 1 г масла;

▪ вміст води більше 0,5%;

▪ вміст механічних домішок більше 1%.

Згідно з існуючими нормами кислотне число для свіжих масел, в залежності від сорту, не повинне перевищувати 0,02–0,3мг КОН.

Для відновлення початкових властивостей масел використовується, так званий, процес регенерації. Терміни служіння масел і необхідність їх регенерації, як вказували вище, визначають в кожному конкретному випадку методом дослідження проб. Практикою установлено наступні терміни придатності масел:

▪ в агрегатах і механізмах, що працюють в нормальних умовах при централізованих системах змащення, масло може слугувати 6–8 років;

▪ в редукторах і механізмах з картерним змащуванням, де внаслідок сильного розбризкування, спінювання і нагрівання, масло може використовуватись не більше 2–3 років;

▪ в механізмах, що працюють при температурі вище 70°C, масло інтенсивно випаровується, окислюється, частково розкладається і старіє через 1–1,5 роки;

▪ в системах, що обслуговують обладнання, яке установлено на відкритому повітрі, масло слугує не більше 3–6 місяців.

Застосовуються різноманітні способи очищення і регенерації масел, серед яких частіше використовуються: *вилуговування, кислотно-лугове і кислотно-контактне очищення, очищення селективними розчинниками.*

ВИЛУГОВУВАННЯ

Це є найпростішим способом. Масло при ньому обробляють розчином лугу (NaOH), який нейтралізує органічні кислоти. Продукти окислювальної полімеризації (нафтові смоли і інші шкідливі домішки) при луговому очищенні не віддаляються, тому цей спосіб для моторних масел не використовують.

КИСЛОТНО-ЛУГОВЕ І КИСЛОТНО-КОНТАКТНЕ ОЧИЩЕННЯ

При цьому способі основним реагентом, що входить в сполучення з небажаними домішками, є сірчана кислота, яку добавляють в дистилятне масло до 6%, а в залишкове — до 10%.

Сірчана кислота руйнує смолисто-асфальтові і ненасичені сполучення, які разом з непрореагованою кислотою випадають в осадок, що утворює кислий гудрон. Найбільш важливими для масел цикланові вуглеводи сірчаної кислоти не зачіпаються і після відокремлення кислого гудрону. Очищення закінчується промиванням масла водою і просушуванням перегрітим паром чи гарячим повітрям.

Для попередження можливості утворення стійких водомасляних емульсій оброблення лугом замінюють контактним фільтруванням з використанням відбілювальних глин, що володіють великою адсорбційною властивістю поглинати полярно-активні речовини, до яких відносяться продукти взаємодії з сірчаною кислотою.

Кислотне очищення з контактним фільтруванням через відбілювальні глини називають кислотно-контактним очищенням.

Застосування для очищення моторних масел сірчаною кислотою має суттєві недоліки, а саме: при сучасних масштабах виробництва моторних масел це приводить до величезних незворотніх витрат сірчаної кислоти — висококоштовної сировини. А кислий гудрон, який є відходом при цьому методі очищення, є вкрай токсичним і шкідливим продуктом. Його подальше використання є нерентабельним, а його величезні накопичення є джерелом шкідливої дії на навколишнє середовище.

ОЧИЩЕННЯ МАСЕЛ СЕЛЕКТИВНИМИ РОЗЧИННИКАМИ

Цей спосіб є сучасним і високоефективним. Його особливістю є можливість в процесі очищення багаторазово використовувати селективні розчинники, в якості яких застосовується фурфурол, фенол і ряд інших речовин.

Принцип селективного очищення полягає в наступному. Підбирають розчинник, який при певній температурі і кількісному співвідношенні з маслом вибірково (селективно) розчиняє в собі всі шкідливі домішки і погано чи зовсім не розчиняє саме масло.

При змішуванні масла з селективним розчинником основна частина шкідливих домішок розчинюється і переходить в розчинник, який не змішується з маслом, а легко з ним розшаровується при відстоюванні. Внаслідок цього утворюється шар очищеного масла. Цей шар називають екстрактом. Шари розподіляють. Шар очищеного масла доочищують відбілювальними глинами, а екстракт піддають регенерації, під час якої селективний розчинник відокремлюється від шкідливих продуктів і знову вводиться в процес очищення.

При цьому способі дуже важливо вибрати як співвідношення масла і розчинника, так і температуру, при якій здійснюють процес очищення. Наприклад, при використанні в якості селективного розчинника фенолу температуру слід підтримувати в діапазоні 50–300°C, а співвідношення масла і розчинника 1:1 або 1:2. При застосуванні фурфуролу співвідношення змінюють в залежності від потрібної глибини очищення масла від 1:1,5 до 1:4.

Для якісного очищення високов’язких залишкових масел використовується метод парних розчинників. При цьому один з них має вибірково розчиняти шкідливі домішки, а інший — масло. Тут відбувається мов би розділення корисного і шкідливого продуктів. При розчиненні рафінату — пропан. Щоб підтримувати пропан в рідкому стані, очищення проводять при тиску до 2,0 МПа.

В останній час все більш застосовують гідрогенізацію, яка є найбільш досконалим способом очищення масел. Проводять його під тиском до 2,0 МПа в присутності водню при температурі 380–480°C. Поряд з цим способом розпочинають використовуватись методи очищення, які побудовані на фільтрації масла через спеціальні мем-

брани, що здатні фільтрувати на молекулярному рівні. Тобто, тут пропускається молекула вуглеводів і затримується молекула продуктів окислювальної полімеризації і інші небажані домішки.

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ І РЕГЕНЕРАЦІЇ МАСЕЛ

Для очищення і регенерації застосовуються різноманітне обладнання, серед якого особливо поширене використання обладнання, принцип дії якого базується на відцентровому ефекті. До них відносяться сепаратори і стенди: СМ2-4; СОГ-913КР; СОГ-913КТ1М; СОГ-914; СОГ-932КТ1; СОГ-933КТН1; СОГ-933КТ1.

СЕПАРАТОР СМ2-4

Сепаратор працює на принципі відцентрових сил і застосовується для очищення масел від будь-яких механічних домішок і віддалення води (рис.6.18).



Рисунок 6.18
Сепаратор СМ2-4

Технічні характеристики СМ2-4

Номінальна продуктивність, $м^3$/годину:

- очищення від механічних домішок (кларифікація); — 4,0
- віддалення води (пурифікація) — 2,8

Максимальний вміст механічних домішок в маслі після одного циклу очищення його методом кларифікації при вихідному вмісті домішок до 0,08%	— не більше масових долей до 0,005%
Вміст води в маслі після одного циклу віддалення його методом пурифікації при вихідному вмісті води до 1%	— не більше масових долей до 0,05%
Установлена потужність, кВт	— 53,5
Частота обертання барабана, об/хв	— 6600
Габаритні розміри, мм:	
▪ довжина	— 1500
▪ ширина	— 1146
▪ висота	— 1225
Маса без ЗІП, кг	— не більше 672

СТЕНД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ РІДИН І МАСЕЛ



Рисунок 6.19
Стенд СОГ-КТ1М для очищення і регенерації масла

Стенд СОГ-КТ1М призначається для тонкого відцентрового очищення і регенерації масла, яке пройшло очищення відстоюванням на протязі 3–4 діб чи фільтруванням від нежирових механічних домішок. При очищенні зневоднених масел в стенді передбачена можливість неперервного виведення води із ротора центрифуги. Зовнішній вигляд стенда показано на рис. 6.19

Технічні характеристики СОГ-91КТ1М

Продуктивність, л/годину — до 3000
Тонкість віддалення, мкм — не гірше 5,0
Споживана потужність, кВт — 4,0
Габаритні розміри, мм:

- довжина — 840
- ширина — 444
- висота — 900



Рисунок 6.20
Стенд СОГ-914

СТЕНД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСЕЛ І РІДИН

Стенд СОГ-914 має значно більший грязезбірник, ніж фільтри такого ж тонкого очищення і продуктивності. Він не потребує до очистного елементу центрифуги змінних чи додаткових технологічних матеріалів. Для дуже забруднених масел стенд рекомендується використовувати разом з установкою хімічного очищення відпрацьованих масел серії «Радуга-М». Зовнішній вигляд стенда СОГ-914 показано на рис. 6.20

Технічні характеристики СОГ-914

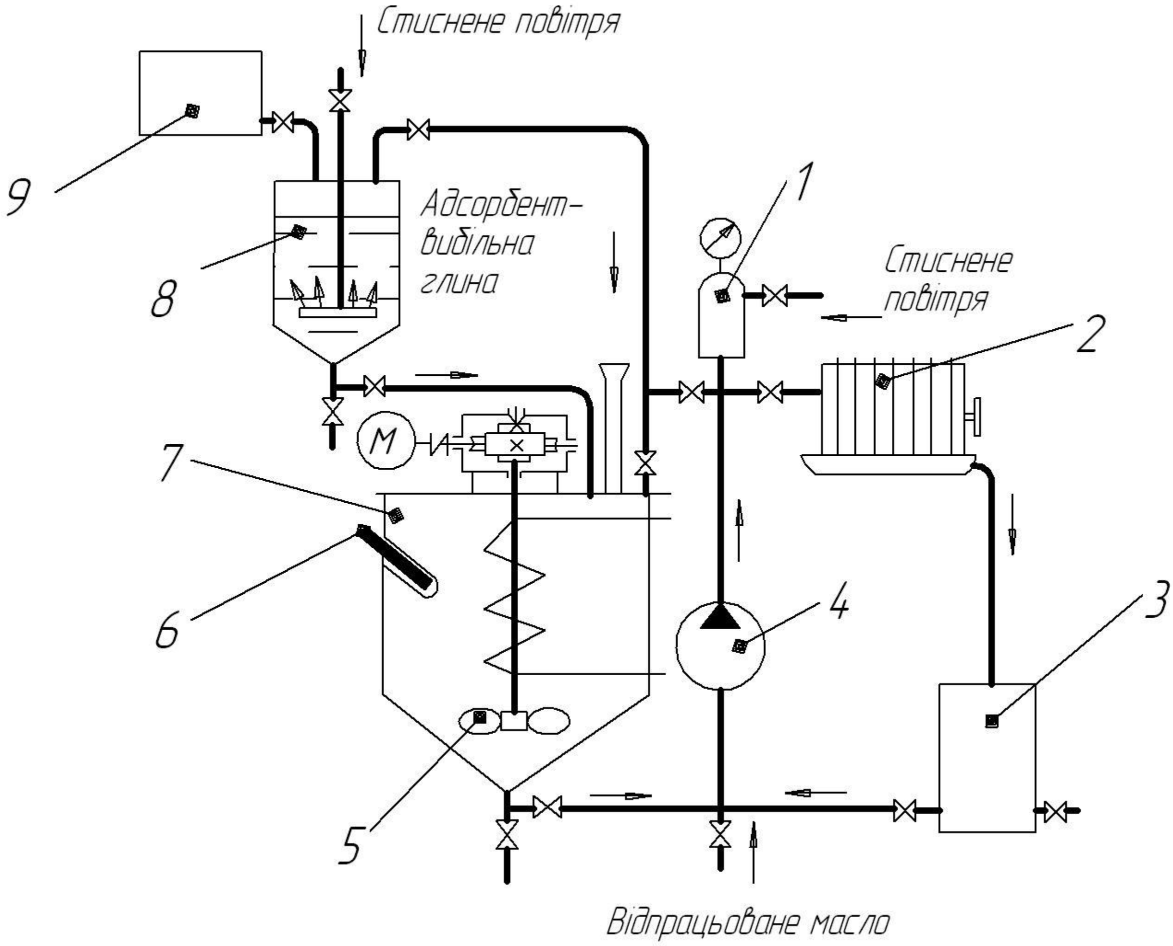
Продуктивність, л/годину — 2000
Тонкість віддалення, мкм — не гірше 5,0
Споживана потужність, кВт — 2,5
Габаритні розміри, мм:

- довжина — 740
- ширина — 410
- Висота — 1010

Маса, кг — не більше 100

УНІВЕРСАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ МАСЕЛ

Хоча розглянуте вище обладнання і має низку позитивних якостей, проте воно не придатне для очищення дуже забруднених домішками відпрацьованих масел. Для цього використовуються універсальні стаціонарні установки, в яких масло проходить декілька стадій очищення. Найбільш шкідливими речовинами, які призводять до старіння масел, є асфальтно-живцеві (смолисті) речовини. Схема універсальної установки, яка працює на методі «відстоювання — обробка кислотою — контактування — фільтрація», показана на рис. 6.21.



1 — повітряний ковпак з манометром; 2 — фільтр-прес; 3 — збірник чистого масла; 4 — насос; 5 — імпелер (мішалка); 6 — термометр; 7 — контактна мішалка; 8 — кислотна мішалка; 9 — бак для сірчаної кислоти (96%-вої).

Рисунок 6.21
Схема універсальної стаціонарної установки масел

Рух масла в різному стані і інших компонентів показано стрілками. Сама ж назва методу говорить про послідовність проходження операцій. Спочатку масло добре відстоюється. Далі проходить оброблення кислотою в апараті 8 (кислотна мішалка), контактне оброблення за допомогою адсорбент-вибільної глини в апараті 7 (контактна мішалка) і фільтрацію у фільтр-пресі 2.

Розділ 7
Технічне обслуговування гідро- і пневмосистем

В останні роки широкого поширення в металургійному обладнанні набув гідравлічний привод, що обумовлено його суттєвими перевагами перед електричним і іншими типами приводів. Насамперед, це велика енерго-насиченість. Якщо в електродвигуні питома сила (густина енергії магнетного поля), що діє на ротор, складає 0,4–0,6 МН/м^2, то у гідродвигунах питома сила (тиск робочої рідини) досягає 50 МН/м^2. Тому гідродвигуни мають значно менші габарити і масу, високу бистродію. Коли виконавчий орган машини з гідроприводом здійснює зворотньо-поступальний чи зворотньо-обертальний рух, то не потрібні передатні механізми (наприклад, редуктори).

По відношенню до загальнотипового гідропривода гідроприводи в металургії мають певні особливості у застосуванні, до яких можна віднести:

- значні величини технологічних навантажень і рухомих мас механізмів у поєднанні з їх високою бистродією, що вимагає високих тисків і витрат робочої рідини;
- перероблення розплавленого або гарячого металу, що робить умови експлуатації більш жорсткими, вимагає високої безвідмовності гідросистем для усунення витоків робочої рідини, розривів трубопроводів і з’єднань для усунення пожеж;
- великі габарити і маси деталей обладнання, що ускладнює технологічне обслуговування і ремонт гідроприводів.

Загалом же такі умови роботи гідроприводів знижують їх безвідмовність і вимагають удосконалення робіт з їх ремонту та технологічного обслуговування. Для цього необхідна, насамперед, висока кваліфікація і особиста відповідальність обслужного персоналу. При цьому він повинен добре читати гідравлічні схеми, знати властивості робочих рідин, будову і принцип дії величезної кількості гідроелементів та гідровузлів, твердо орієнтуватись в гідравліці трубопроводів і т. п.

1. ПОНЯТТЯ ПРО ТИСК І ЙОГО РІЗНОВИДИ

Тиск — величина скалярна і являє собою силу, поділену на площу. Одиниця вимірювання тиску — Н/м^2, Па (Паскаль). Проте частіш користуються одиницею МПа=10^6 Па (1атмосфера=0,1 МПа).

При розгляді гідравлічних і пневматичних систем частіш використовують такі назви тисків: атмосферний (барометричний); манометричний (надлишковий), вакуумtriчний, абсолютний. Розглянемо їх взаємодію за відношенням до основного рівняння гідростатики:

$$P=P_o+\rho\cdot g\cdot h,$$

де P — абсолютний тиск в точці, яка перебуває в середині рідини;

P_0 — тиск газоподібного середовища на вільну поверхню рідини (гідростатичний тиск на вільній поверхні рідини);

ρ — густина рідини;

g — прискорення вільного падіння;

h — висота стовпчика рідини.

Якщо абсолютний тиск (при $P_0=P_б$, де $P_б$ — барометричний тиск) більше барометричного, то їх різницю називають манометричним тиском $P_{ном}$ і тобто манометричний тиск являє собою надлишок тиску в даній точці над барометричним. Якщо абсолютний тиск менший за барометричний, то їх називають вакуумметричним тиском чи просто вакуумом (розрідженням).

Величини тисків, на які розрахована робота пнемо- і гідросистем, стандартизовані і складають, МПа: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250.

2. ВЛАСТИВОСТІ РОБОЧИХ РІДИН

Робочою рідиною в гідросистемах слугують, головним чином, різні мінеральні рідини, що являють собою дистилятні масла, які згущені твердими вуглеводами (парафіном, церезином і т. п.), та інші рідини на основі органічних і кремнійорганічних сполук. Особливо широко використовуються суміші мінеральних масел, що складають-

ся із малов'язких продуктів із високов'язкими компонентами (загусниками).

Основними показниками для оцінювання якості робочої рідини слугують в'язкісно-температурні і антикорозійні властивості, мастильна здатність, не агресивність до ущільнювальних деталей та інше.

ГУСТИНА І ПИТОМА ВАГА

Густина — фізична величина, що являє собою відношення маси m рідини до її об'єму, тобто

$$\rho = m/V, \text{ кг/м}^3.$$

Густина мінеральних масел складає 830…940 кг/м^3. Для практичних розрахунків приймають 900 кг/м^3.

В'ЯЗКІСТЬ

В'язкість робочого середовища являє собою властивість чинити опір ковзанню шарів рідини (тобто чинити опір зсуву часток) іураховується при розрахунках режимів течії рідини. Розрізняють кінематичну і динамічну в'язкості. Фізична суть в'язкості полягає в тому, що при течії рідини поздовж твердої стінки швидкість її шарів внаслідок гальмування потоку різна, внаслідок чого між шарами виникає сила тертя. Остання визначається із рівняння Ньютона і являє собою в цьому рівнянні коефіцієнт пропорційності із розмірністю Н·с/м^2 (Па·с).

Кінематична в'язкість визначається шляхом поділення динамічної в'язкості на густину, її розмірність приймають у мм^2/с.

В'язкість, як і густина, залежить від температури і тиску. В'язкість із підвищенням температури зменшується. Для, рідин, що застосовуються в гідросистемах, кінематична в'язкість може визначатися за формулою:

$$\nu_t = \nu_{50}\left(\frac{50}{t}\right)^n,$$

де ν_t – кінематична в'язкість при t°C;

ν_{50} – кінематична в'язкість при t=50°C;

n – показник степеня, що змінюється в межах від 1,3 до 3,5 і більшості в залежності від значення ν_{50} $(n - \lg\nu_{50} + 2{,}7)$;

t – температура, при якій необхідно визначити в'язкість.

В деяких випадках наводяться значення в'язкостей і при інших температурах (20; 40;100°C).

СТИСЛИВІСТЬ РІДИНИ

Всі рідини, крім ідеальної, змінюють свій об'єм при зміненні тиску. Характеристикою відносного змінення об'єму слугує коефіцієнт стисливості β (коефіцієнт відносного об'ємного стиснення), який при умові, що стиснення робочого середовища підпорядковується закону Гука, може визначатись за формулою:

$$\beta = \frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V_0},$$

де $\Delta p = p_2 - p_1$ — змінення тиску, що діє на робоче середовище, МПа;

$p_1;\ p_2$ — кінцевий і початковий тиск, МПа;

$\Delta V = V_0 - V$ — змінення об'єму робочого середовища при зміненні тиску на величину Δp, м^3;

V_0, V — початковий об'єм робочого середовища при атмосферному тиску і об'єм при зміненні тиску на величину Δp, м^3.

Величина, зворотня β, називається об'ємним модулем пружності робочого середовища при всебічному стисненні:

$$E = V_0 \frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{1}{\beta}, \text{ МПа}$$

Модуль змінюється в залежності від тиску рідини, тиску і температури. При 20°C і атмосферному тиску модуль пружності мінеральних масел складає 1350…1750 МПа, води — 2000 МПа, силіконової рідини — 1050 МПа. Найбільш високим модулем пружності серед рідин органічного походження володіє гліцерин (E=4000МПа).

ТЕМПЕРАТУРА СПЛАХУ І ЗАСТИГАННЯ

При підвищенні температури із масла виділяються пари, які при піднесенні відкритого вогню спалахують. Саме температурний поріг спалаху-вання і прийнято вважати температурою спалаху. Величина температури спалаху залежить, перш за все, від властивостей масел і перебуває переважно в межах 100…200°С. Щоб запобігти спалахуванню (а отже і винекненю пожежі), температура масла в процесі роботи гідросистеми має бути на 15–20% меншою ніж температура спалаху.

Дуже важливим показником рідини є температура її загущення, яка характеризує рідину з погляду збереження нею текучості і можливості транспортування і зливання в холодний час року. Температура застигання масла має бути не менш ніж на 16–17°С нижчою за температуру навколишнього середовища, в умовах якого має працювати гідросистема.

ТЕПЛОЄМНІСТЬ І ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

Теплоємність характеризує кількість тепла, яке необхідне для нагрівання 1 кг робочого середовища на 1°С.

Теплоємність мінеральних масел в діапазоні температур від 0 до 100°С складає приблизно 1,99 кДж/(кг·К), а води — 4,2 кДж/(кг·К).

Теплопровідність характеризує здатність робочого середовища проводити тепло. Вода при 50°С має теплопровідність $6{,}5\cdot10^{-4}$ кВт/мК, мінеральні масла при температурі 15–20°С — $1{,}3\cdot10^{-4}$ кВт/мК.

Ці величини використовуються при теплових розрахунках охолодження чи нагрівання робочих рідин в баках чи в інших ємкостях.

КАВІТАЦІЯ

Кавітація являє собою місцеве виділення із рідини в зонах пониженого тиску парів рідини і газів (закипання рідини) з наступним руйнуванням парових і газових бульбочок при попаданні їх в зону підвищеного тиску. У свою чергу кавітація призводить до місцевих

руйнувань деталей і елементів гідромашин і систем. Частіше руйнуються деталі насосів, золотників і клапанів. Руйнування проявляються дірчастістю поверхні деталі.

Основним способом боротьби з кавітацією є максимальне зниження розрідження в зонах можливої кавітації (за рахунок підвищення навколишнього тиску). Другим важливим способом є застосування металів з підвищеними механічними і хімічними властивостями. Найбільш стійким серед відомих матеріалів є титан.

Проте, незважаючи на негативні властивості, кавітаційний ефект використовується в практичних цілях для стабілізації витрат рідини при проходженні її через вузькі канали (наприклад, у підсилювачах типа сопло-заслінка), очищення деталей від різного забруднення.

3. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ СТОСОВНО ГІДРАВЛІКИ ТРУБОПРОВОДІВ

Ділянку трубопровода, що поєднує насос з баком, називають всмоктувальною магістраллю (лінією), а ділянку трубопровода, по якій рідина від насоса надходить до гідродвигуна, — напірною (робочою чи нагнітальною) магістраллю і ділянку, по якій рідина відводиться від гідродвигуна в бак, — зливною магістраллю (зливом). До напірної магістралі відносять і її трубопроводи, які перебувають під робочим тиском.

ПЕРЕРІЗ ТРУБОПРОВОДІВ І ШВИДКОСТІ РУХУ РІДИНИ

Відомо, що витрати рідини, що проходить через трубу будуть тим більшими, чим більшими будуть прохідний переріз труби і швидкість рідини. Разом з тим належить ураховувати, що збільшення швидкості приводить до збільшення тиску у гідросистемі, а збільшення перерізу труби — до збільшення маси труби, що погіршує характеристики привода за показниками жорсткості, вимагає застосування більш вартісної гідроапаратури і т. д.

Внутрішній діаметр труби чи каналу рекомендується визначати за формулою:

$$d_t = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v}},$$

де Q — витрати рідини;

v — швидкість рідини в трубопроводі чи каналі;

Остаточний розрахунковий діаметр труби погоджується із стандартизованим рядом діаметрів умовних проходів (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Умовні проходи трубопроводів і арматури

Діаметр умовного проходу, мм	Площа прохідного перерізу, $см^2$	Різьба трубна в дюймах	Діаметр умовного проходу, мм	Площа прохідного перерізу, $см^2$	Різьба трубна в дюймах
3	0,07	–	70	34,48	2 1/2
6	0,28	–	80	50,27	3
8	0,50	1/4	100	70,54	4
10	0,79	3/8	125	122,72	5
15	1,77	1/2	150	176,72	6
20	3,14	3,4	175	240,53	7
25	4,94	1,0	200	297,61	8
32	8,04	1 1/4	225	314,16	9
40	12,57	1 1/2	250	490,87	10
50	19,64	2	275	593,96	11
60	26,31	–	300	706,88	12

Крім вказаних в табл. 7.1 умовних проходів, як основних, ще використовується і додатковий ряд D_y :1,6; 2; 2,5; 4; 5; 12; 16;160.

Для напірних трубопроводів між величинами тиску і швидкості руху рідини є також певна залежність, яка установлена на підґрунті багатолітньої практики експлуатації гідроприводів:

Тиск, МПа	1,0 2,5 5,0 10 15 20 32
Допустима швидкість руху рідини, м/с	1,3 2,0 3,0 4,5 5,5 6,0 8,0

Для всмоктувальних трубопроводів швидкість складає 0,5–1,5 м/с, а зливних — до 2,0 м/с.

У загальних випадках швидкість вибирають такою, щоб втрати в трубопроводах не перевищували 5–6% робочого тиску.

Величину швидкості рідини в трубах визначають за формулою:

$$V = \frac{Q}{S},$$

де S — площа внутрішнього діаметра трубопровода.

РЕЖИМИ ТЕЧІЇ РІДИН

Розрізняють два режими течії рідин в трубопроводах: ламінарний і турбулентний.

При ламінарному режимі рідина рухається шарами без поперечного змішування, причому тут відсутні пульсації швидкості і тиску.

При турбулентному режимі шари перемішуються, рух рідини відбувається при пульсації швидкості і тиску.

Кожний із режимів характеризується числом Рейнольдса Re, яке для труб круглого перерізу визначається за формулою:

$$Re = \frac{V_{ср} \cdot d}{\nu} \text{ чи, } Re = \frac{Q}{0.785 \cdot d \cdot \nu},$$

Де $V_{ср}$ — середня швидкість потоку, м/с;

d — внутрішній діаметр трубопровода, м;

ν — кінематична в'язкість, м^2/с;

Q — витрати рідини, м^3/с.

Для кільцевих щілин (d_1 і d_2 — зовнішній і внутрішній діаметри щілин) число Рейнольдса складатиме:

$$Re = \frac{V_{ср} \cdot (d_1 - d_2)}{\nu}.$$

Межу між ламінарним і турбулентним режимами визначає критичне число Рейнольдса $R_{e\,кр}$. Якщо $R_e < R_{e\,кр}$, то потік — ламінарний, якщо $R_e > R_{e\,кр}$, то потік — турбулентний. Для круглих рівних труб $R_{e\,кр} \approx 2200$–2300, для гнучких рукавів — 1550–1650, для рівних кільцевих щілин — 1000–1100, для вікон золотників — 250–270, для клапанів — 30–100, для кранів — 500–700.

ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР В ТРУБАХ

У зв'язку із застосуванням високих швидкостей течії рідин разом із швидкісними розподільниками великого значення набувають питання, що поєднуються з гідроударом, при якому виникають тиски в декілька разів більші за номінальний. В окремих випадках ці тиски можуть руйнувати трубопроводи.

Гідравлічним ударом називають підвищення тиску рідини при швидкісному призупиненні її руху (швидкому перекритті засувки). Він обумовлений стисливістю рідини і пружною деформацією трубопровода. Величину ударного тиску можна визначити за формулою:

$$\text{Руд} = \frac{4 \cdot Q \cdot \rho}{\pi \cdot d^2} \cdot C$$

де Q — витрати рідини в трубі, м^3/с;

ρ — густина рідини, кг/м^3;

d — внутрішній діаметр труби, м;

C — швидкість поширення ударної хвилі в пружній рідині, м/с.

$$C = \frac{1}{\sqrt{\dfrac{d \cdot \rho}{\delta \cdot E_{\text{тр}}} + \dfrac{\rho}{E_p}}}$$

де δ — товщина стінки труби, м;

$E_{\text{тр}}$, E_p — модуль пружності труби і рідини, Па.

До основних способів боротьби з гідравлічним ударом відносяться: збільшення часу перекриття заслінки чи перемикання розподільника і приєднання до труби в місці перекриття рідини компенсаторів.

Регулювання часу швидкості спрацювання розподільного чи відсічного розподільника здійснюється, зазвичай, дросельним реле, завдяки чому час перекриття трубопровода може тривати (при необхідності) декілька секунд.

Необхідний час перекриття засувки, при якому буде створюватись допустиме підвищення тиску, визначається за формулою:

$$t = 2L \cdot \frac{1}{\sqrt{E_p / \rho}},$$

де L — довжина трубопровода.

Компенсатори гідравлічного удару, зазвичай, являють собою з'єднану з трубопроводом ємкість із пружним елементом. Ударний тиск тут компенсується за рахунок часткового поглинання енергії пружним елементом. Найбільш ефективною буде компенсація удару у тому випадку, якщо пружний елемент буде сполучатися із силами сухого чи в'язкого тертя.

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ РОБОЧИХ РІДИН

При виборі робочих рідин належить враховувати наступні обставини:

1. В гідросистемах машин, що призначені для роботи при стабільних температурних умовах і при тисках менше 10 МПа, використовуються масла із в'язкістю 20–40 мм^2/с, (при 50°С), при тисках до 20 МПа — із в'язкістю 40–60 мм^2/с, при тисках 50–60 МПа (гідропреси) — із в'язкістю до 110–150 мм^2/с.

2. Мінеральні рідини придатні для роботи при температурі не вище 150°С.

3. При температурі 150°С і вище без спеціальних охолоджувальних пристроїв використовуються синтетичні рідини (полісилікоксанові, кремнійорганічні і інші). У закритих системах без доступу повітря їх можна тривало використовувати при температурі до 360–380 °С.

4. Температура застигання рідини повинна бути на 15–20°С нижче мінімальної робочої температурної гідросистеми. Синтетичні рідини допускають роботу гідросистеми при температурах до –60°С, а деякі мінеральні, кращі в цьому відношенні (наприклад, приладні МВП і АМГ), можуть використовуватись при температурах не нижче –50°С.

5. Не рекомендується використовувати суміші масел в гідросистемах із високим тиском.

7. Синтетичні рідини розчиняють практично всі пластифікатори синтетичних каучуків. Тому застосовувати ущільнення, що виготовлені із синтетичних каучуків, в цьому випадку не рекомендується,

оскільки вони будуть мати дуже низький термін служіння через втрати еластичності.

7. В гідросистемах, що працюють в умовах підвищеної пожежобезпеки належить застосовувати негорючі робочі рідини — емульсії (водні, водно-гликолеві і синтетичні). Емульсія типу «масло у воді» (основа — вода, масло — додаток) мають більш низьку вартість, проте не задовольняють всім вимогам які пред'являються до робочих рідин (недостатня мастильна здатність, висока корозійна активність, нестабільність фізико-хімічних властивостей в процесі експлуатації). Задовільними антикорозійними і мастильними властивостями володіють емульсії типу «вода у маслі» (основа — масло, а вода — додаток), проте вони можуть працювати при тисках не вище 7–14 МПа.

Водногликолеві робочі рідини містять 30–69% води, гликоль — розчинний у воді загусник для отримання необхідних в'язких властивостей і різні присадки. До них відносяться рідини ПГВ і «Промгидрол». Вони сумісні майже із будь-якими матеріалами: вуглецевими і легованими сталями, чавунами, нікелем, міддю, алюмінієм, титаном і їх сплавами, пластмасами (поліетиленом, фторпластом, текстолітом, склопластом, паронітом, поліамідом, капроном і іншими), гумами (В — 14, ИРП — 1118, ИРП — 1175 і іншими).

На даний час компанія «РОСПОЛИХИМ», а саме виробнича компанія «ООО ПОЛИЭФИР» є єдиним виробником гідравлічної рідини ПГВ.

Рідина «Промгідрол» може використовуватись для всієї гідроапаратури крім дросельних золотників. В той же час мастильні властивості цієї рідини набагато гірші, ніж масел. Тому ресурс роботи насосів може знижуватись на 30–40% в залежності від величини тиску. Крім того, частота обертання насосів не повинна перевищувати 1000 об/хв, а установлена потужність насоса — підвищена на 15–25%.

Моторні масла не рекомендуються для використання в гідравлічних системах, оскільки по відношенню до інших спеціальних гідравлічних масел вони володіють незадовільною — і повітревідокремлювальною властивістю; вузьким температурним діапазоном, а наявність в більшості сезонних моторних масел присадки для підвищення індекса в'язкості не дозволяють використовувати ці масла в гідравлічних машинах.

Одним із головних моментів при виборі гідравлічних масел є вибір масла з необхідною величиною в'язкості. Значення мінімальних і максимально допустимих величин в'язкості для різних гідромашин наведено в табл. 7.2.

Характеристики гідравлічних рідин, що використовуються в гідро-системах металургійних механізмів, машин і агрегатів, наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.2

Величина в'язкості масел для різних типів насосів

Тип насосів	Величина в'язкості, $мм^2/с$		Стартова в'язкість, $мм^2/с$
	мінімальна	максимальна	допустимий діапазон
Поршневі	8	800	200–800
Лопатеві	12	1000	500–1000
Шестерневі	15	1600	800–1600

Таблиця 7.3

Характеристики найбільш поширених гідравлічних рідин

Тип масел і рідин	Кінематична в'язкість, $мм^2/с$	Температура, °С			Густина, $кг/м^3$
		Застигання	спалаху	робоча	
1	2	3	4	5	6
Агринол:					
1-HG-B-32	29–35 (40°С)	–15	200	5…80	890
1-HG-B-46	41–51 (40°С)	–15	210	5…80	890
1-HG-B-68	61–75 (40°С)	–15	220	5…80	900
1-HG-B-100	90–110 (40°С)	–15	225	5…80	910
1-HG-B-220	198–288 (40°С)	–15	225	5…80	915
Азмол:					
МГЕ-10Д	14 (40°С)	–50	130	–20…+60	~900
МГЕ-32В	29–35 (40°С)	–32	180	–10…+70	~900
МГЕ-46В	41–51 (40°С)	–32	190	–10…+70	~900
МГЕ- 68В	61–75 (40°С)	–25	195	–5…+70	~900
МГЕ-100В	90–100 (40°С)	–25	200	–5…+70	~900
ИГП-72	110–125 (40°С)	–15	220	5…80	~900

Закінчення таблиці 7.3

1	2	3	4	5	6
ИГП-91	148–165 (40°С)	–15	225	5…80	~900
ИГП-114	186–205 (40°С)	–15	230	5…80	~900
ИГП-152	265–280 (40°С)	–15	230	5…80	~900
ИГП-182	320–348 (40°С)	–15	240	5…80	~900
ИГС-32	29–35 (40°С)	–15	185	5…70	~900
ИГС-46	41–51 (40°С)	–15	200	5…80	~900
ИГС-68	61–75 (40°С)	–15	210	5…80	~900
Індустріальні масла:					
И-12А	10–14 (50°С)	–30	165	–10…+40	876–891
И-20А	17–23 (50°С)	–20	170	0…+90	881–901
И-30А	27–33 (50°С)	–15	180	10…+50	886–916
И-45А	38–52	–10	190	10…+60	890–930
И-50А	42–58	–20	200	10…+70	890–930
АМГ	10 (50°С)	–70	92	–50…+60	–
Промгідрол:					
П-20	17–22 (50°С)	–10	–	–	1145–1155
П-20 М-1	18–24 (50°С)	–30	–	–	1125–1140
П-20 М-2	21– 27 (50°С)	–45	–	–	1145–1155

5. ОСОБЛИВОСТІ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ

На відміну від рідин гази характеризуються значною стисливістю і високими значеннями коефіцієнта температурного розширення.

Зв'язок між питомим об'ємом газу *V*, тиском *p* і абсолютною температурою *T* описується рівнянням:

$$p \cdot V = R \cdot T,$$

де *R* — газова стала, що визначається як робота розширення 1 кг газу при нагріванні на 1 градус, Дж/(кг·град).

Значення R є певним для різних газів. Для повітря, азоту і аргону, що використовуються в гідравлічних і пневматичних системах приводів, газова стала R в Дж/(кг·град) відповідно складає: 287; 297; 208.

Густина газу залежить від тиску і температури і може бути наближено установлена за допомогою рівняння Клапейрона для ідеального газу:

$$\rho = p/(R \cdot T).$$

Значення густини в кг/м^3 при t=0°С і при p=0,1МПа для тих же газів (повітря, азоту, аргону) відповідно складають: 1,293; 1,251; 1,782.

В'язкість газів збільшується із підвищенням температури. Це залежність достатньо точно описується формулою Сатерленда:

$$\mu = \mu_0 \cdot \left(\frac{T_0 + C}{T + C}\right) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2},$$

де μ і μ_0 — абсолютна динамічна в'язкість при вихідній температурі T_0 і даній температурі T;

C — постійний для даного газу коефіцієнт (для повітря С=130,5).

Для більшості газів μ практично не залежить від тиску в межах від 0 до 0,5 МПа, а при подальшому підвищенні тиску викликає суттєве змінення μ.

Значення кінематичної в'язкості для повітря, азоту і аргону наведено в табл.7.4.

Таблиця 7.4

Кінематична в'язкість $\upsilon \cdot 10^6$, м^2/с при p=0,1МПа

Газ	Температура, °С								
	–20	0	20	40	60	80	100	150	200
Повітря	11,7	13,2	15,0	17,0	18,8	20,9	23,0	30,0	34,9
Азот	11,7	13,3	15,0	16,8	18,8	20,6	22,3	28,3	34,1
Аргон	–	11,9	13,3	–	–	–	20,7	–	31,2

Тиск газу при постійній температурі пропорційний тиску молекули газу, який перебуває у даному об'ємі (тобто масі газу). Згідно із законом Бойля– Маріота при постійній температурі добуток тиску газу, який перебуває у замкнутому просторі, на його об'єм є постійною величиною, тобто

$$p \cdot V = const,$$

Звідки виходить рівняння

$$p_1/p_2 = V_2/V_1,$$

де p_1, p_2 — відповідно початковий і кінцевий тиск;

V_1,V_2 — відповідно початковий і кінцевий об’єм.

Гази підпорядковуються, головним чином, тим залежностям, що і рідини. Принцип дії газових систем побудований на тих же законах, що і гідравлічні. В той же час через високу стисливість течія газу не підпорядковується закону сталого руху рідин, згідно з яким швидкість руху рідини в кожній точці магістралі визначається її координатами і не залежить від часу.

При заповненні стислим газом ємкості, що перебуває під постійним тиском, газ у початковий момент, коли тиск там мінімальний, буде проходити з максимальною швидкістю, яка в міру вирівнювання тиску в підвідній магістралі і заповнення ємкості буде знижуватись і досягне при повному вирівнюванні нульового значення.

6. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРО- І ПНЕВМОПРИВОДІВ

Умовні графічні позначення елементів і пристроїв однозначно показують призначення елементів і пристроїв і характер проходження в них процесів, а разом з тим характер і напрям руху елементів привода і управління, напрям руху робочої рідини і газів і т. д.

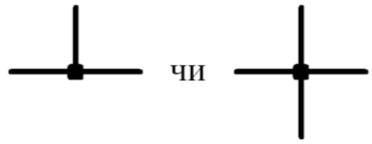
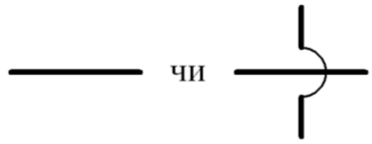
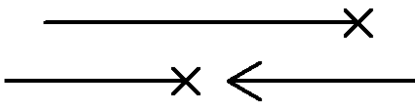
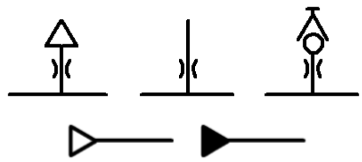
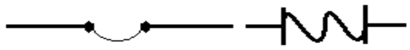
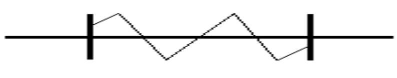
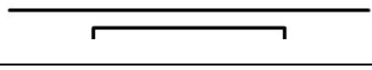
В табл. 7.5 наведено умовні графічні позначення гідравлічних і пневматичних елементів. При складанні таблиці використано міждержавні стандарти ГОСТ 2.780-96, ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.783-96, ГОСТ 2.784-97.

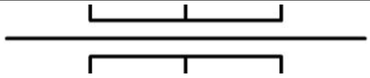
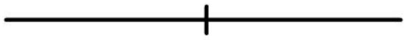
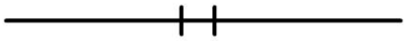
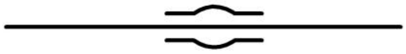
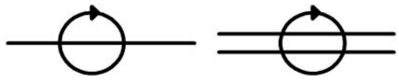
Таблиця 7.5

Умовні позначення окремих елементів гідро- і пневмоприводів

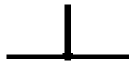
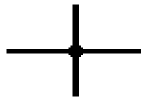
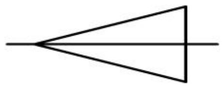
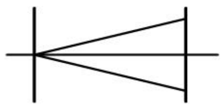
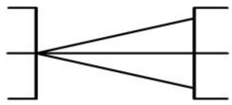
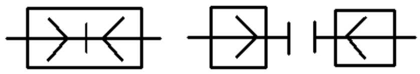
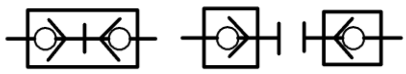
Найменування	Позначення
1	2
ЕЛЕМЕНТИ ТРУБОПРОВОДІВ	
1. Трубопровід: ▪ лінії всмоктування, напору, зливу;	

Продовження таблиці 7.5

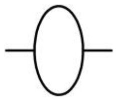
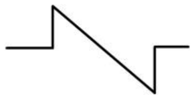
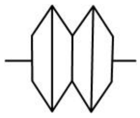
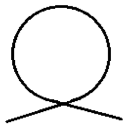
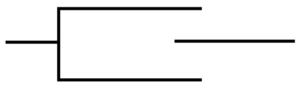
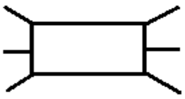
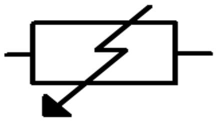
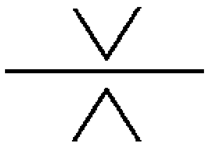
1	2
▪ лінії управління, дренажу, випускання повітря, відводу конденсату	
2. З’єднання трубопроводів	
3. Пересікання трубопроводів без з’єднання	
4. Місце приєднання (для відбору енергії чи вимірювального прилада): ▪ нез’єднане (закрите)	
▪ з’єднане	
5. Трубопровід з вертикальним стояком	
6. Трубопровід гнучкий, шланг	
7. Ізольована ділянка трубопроводу	
8. Трубопровід у трубі (футлярі)	

1	2
9. Трубопровід у сальнику	
10. З’єднання трубопроводів роз’ємне:	
▪ агальне позначення	
▪ фланцеве	
▪ штуцерне різьбове	
▪ муфтове різьбове	
▪ муфтове еластичне	
11. Поворотне з’єднання: однолінійне, дволінійне	
12. Кінець трубопроводу під роз’ємне з’єднання:	
▪ загальне позначення	
▪ фланцеве	
▪ штуцерне різьбове	
▪ муфтове різьбове	
▪ муфтове еластичне	
13. Кінець трубопроводу із заглушкою:	
▪ загальне позначення	
▪ фланцевий	
▪ різьбовий	

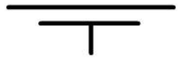
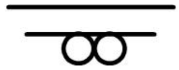
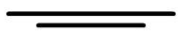
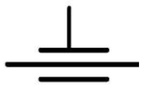
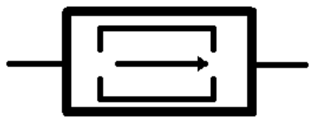
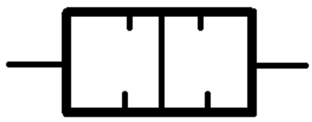
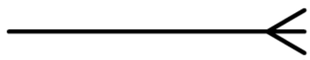
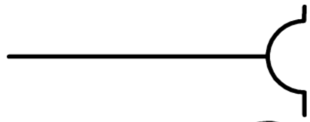
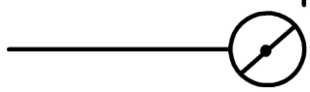
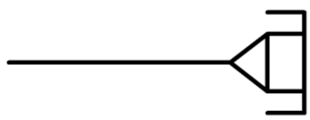
Продовження таблиці 7.5

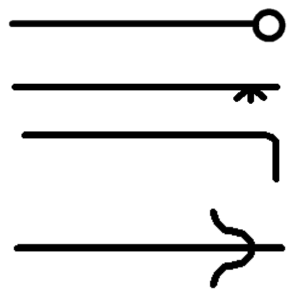
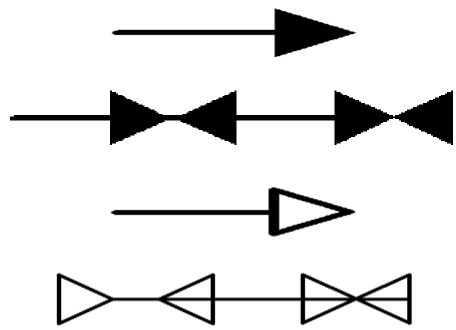
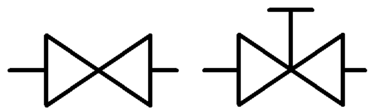
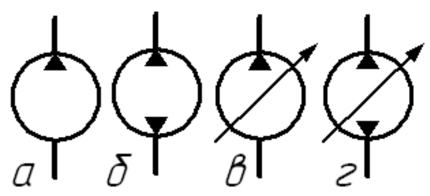
1	2
14. Деталі з'єднання трубопроводів:	
▪ трійник	
▪ хрестовина	
▪ відвід (коліно)	
▪ розгалужувальник (колектор, гребінка)	
15. Сифон	
16. Перехід, патрубок перехідний:	
▪ загальне позначення	
▪ фланцевий	
▪ штуцерний	
17. Швидко роз'ємне з'єднання із запірним елементом (з'єднане чи роз'єднане)	
18. Швидко роз'ємне з'єднання із запірним елементом (з'єднане і роз'єднане)	
19. Компенсатор:	
▪ загальне позначення	
▪ П-подібний	
▪ ліроподібний	

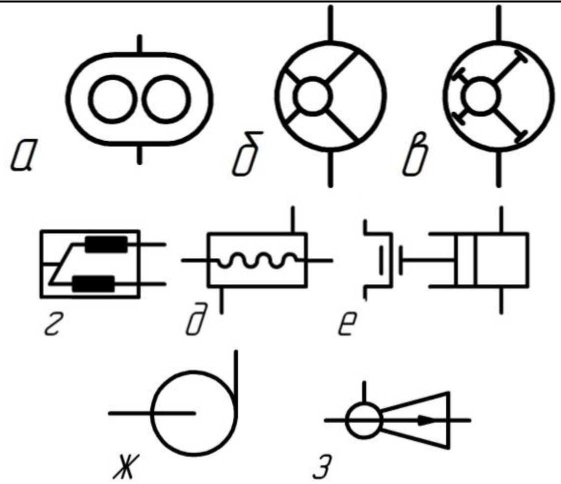
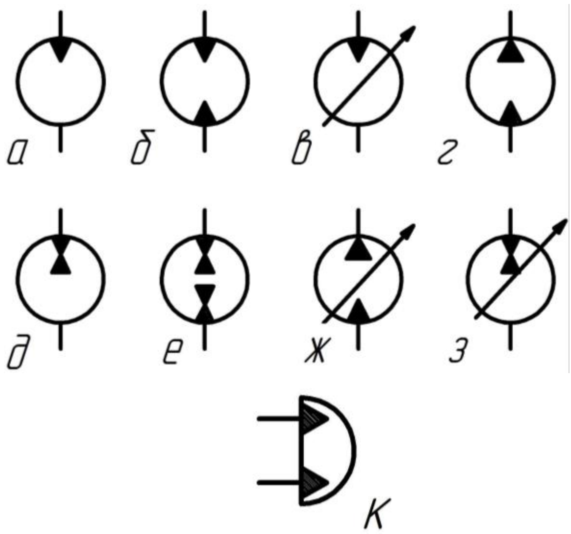
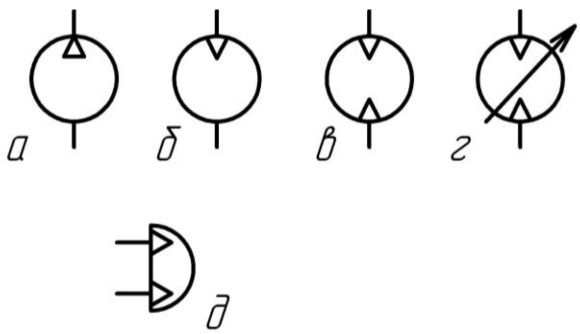
Продовження таблиці 7.5

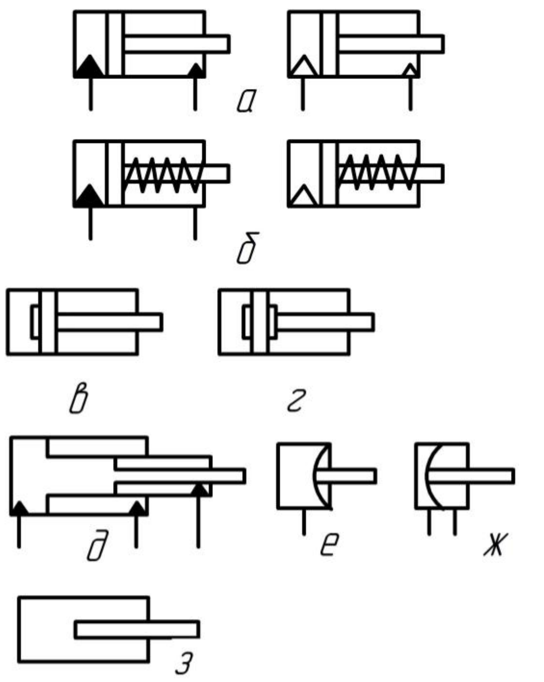
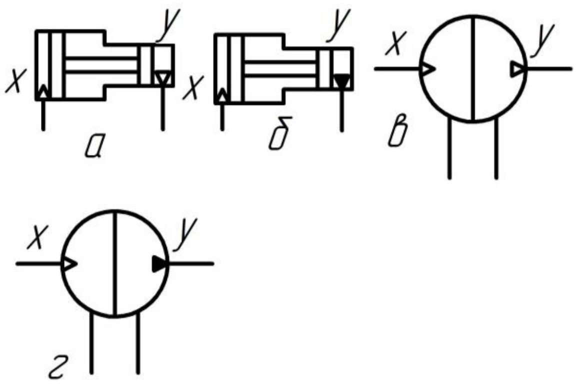
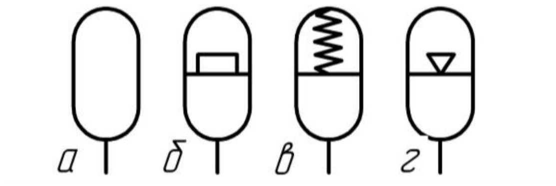
1	2
▪ лінзовий	
▪ хвилястий	
▪ Z — подібний	
▪ сільфонний	
▪ кільце	
▪ телескопічний	
20. Вставка:	
▪ амортизаційна	
▪ звукоізольована	
▪ електроізольована	
21. Місце опору із витратами:	
▪ залежними від в'язкості робочого середовища	
▪ не залежними від в'язкості робочого середовища (шайба дросельна, витрато-мір, діафрагма)	
22. Опора трубопроводу:	
▪ нерухома	

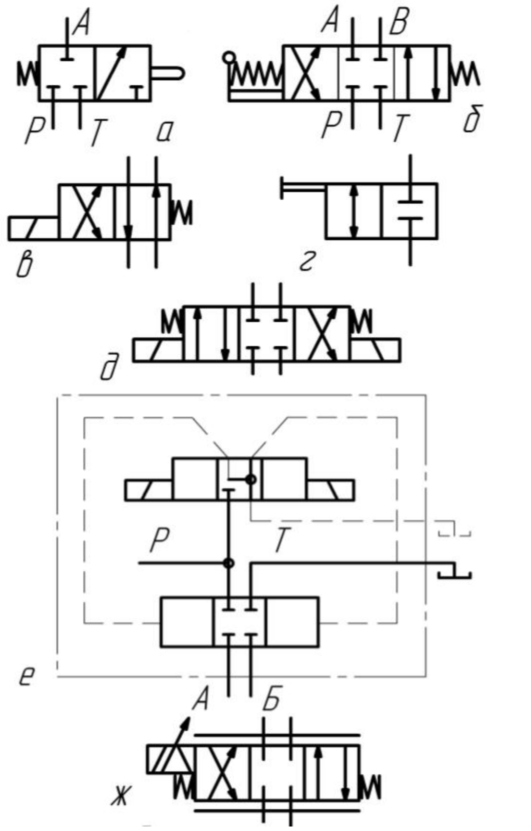
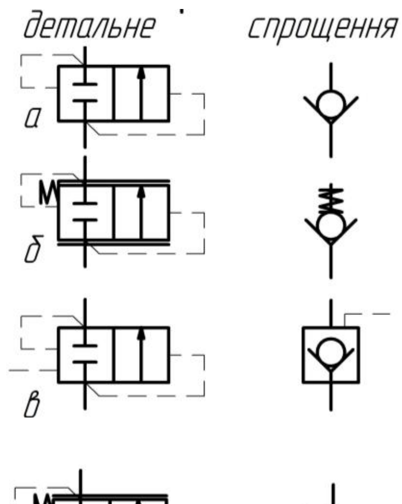
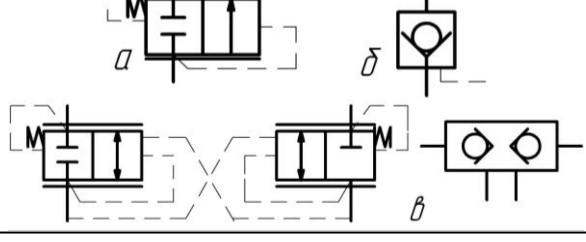
Продовження таблиці 7.5

1	2
▪ рухома (загальне позначення)	
▪ кулькова	
▪ напрямна	
▪ ковзна	
▪ коткова	
▪ пружна	
23. Підвіска:	
▪ нерухома	
▪ напрямна	
▪ пружна	
24. Гаситель гідравлічних ударів	
25. Мембрана проривна	
26. Форсунка	
27. Забірник повітря із атмосфери	
28. Забірник повітря від двигуна	
29. Приєднувальний пристрій до інших систем	

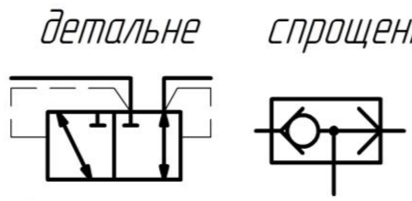
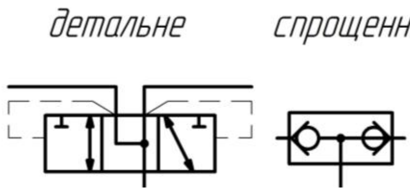
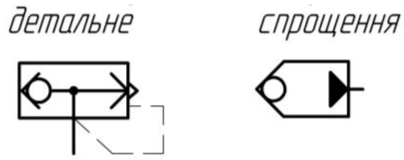
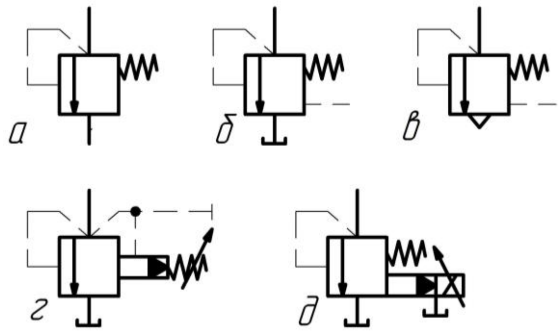
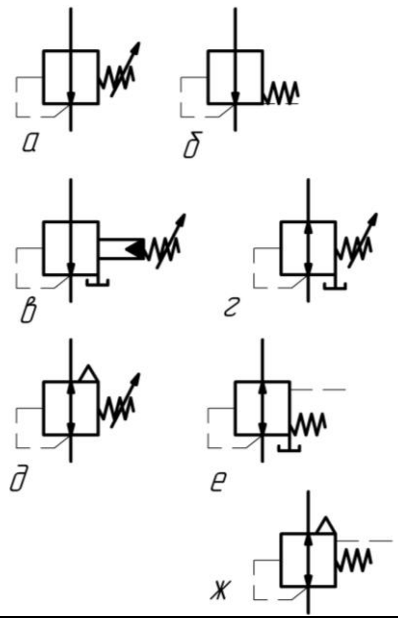
1	2
30.Точки змащування: ▪ у гідролініях ▪ у гідроелементах ▪ у пневмолініях ▪ у пневмоелементах	
31.Напрямок дії напору: ▪ у гідролініях ▪ у гідроелементах ▪ у пневмолініях ▪ у пневмоелементах	
32.Вентилі	
Позначення ліній: S — всмоктування; P — напору; T — зливу; A, B — підвід до споживача; P_x (x), T_y (y), L(дренаж) — управління	
МАШИНИ ГІДРАВЛІЧНІ І ПНЕВМАТИЧНІ	
1. Узагальненні позначення гідронасосів: *а* — односторонньої дії, нереверсивний; *б* — двосторонньої дії, реверсивний; *в* — односторонньої дії з регулюванням потоку; *г* — двосторонньої дії з регулюванням потоку.	

1	2
2. Конкретні позначення гідронасосів: *а* — шестерневий; *б* — ротаційно-лопатевий; *в* — радіально-поршневий; *г* — аксіально-поршневий; *д* — гвинтовий; *е* — кривошипний; *ж* — лопатевий відцентровий; *з* — струменевий.	
3. Узагальнені позначення гідромоторів і насос-моторів: *а* — гідромотор нерегульований із нереверсивним потоком; *б* — гідромотор нерегульо-ваний із реверсивним потоком; *в* — гідромотор регульований із нереверсивним потоком; *г* — насос-мотор нерегульований; *д* — насос-мотор нерегульований із реверсивним потоком; *е* — насос-мотор нерегу-льований з будь-яким напрямком потоку; *ж* — насос-мотор регульований з одностороннім потоком; *з* — насос-мотор регульо-ваний із реверсивним напрямком потоку; *к* — поворотний гідродвигун.	
4. Пневмодвигуни: *а* — компресор; *б* — пневмомотор нереверсивний і нерегульований; *в* — пневмомотор нерегульований з реверсивним потоком; *г* — пневмомотор регульований з реверсивним потоком; *д* — поворотний пнемодвигун.	

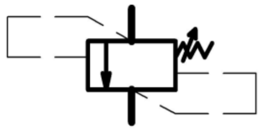
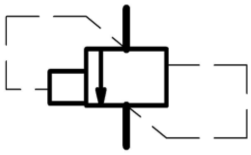
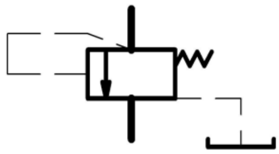
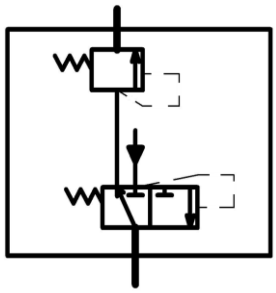
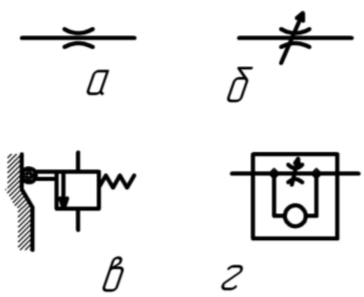
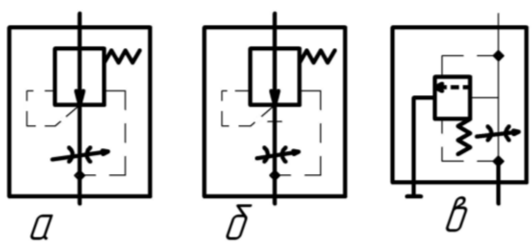
1	2
5. Циліндри: *а* — гідравлічний і пневматичний циліндри двосторонньої дії; *б* — гідравлічний і пневматичний циліндри із поверненням штока пружиною; *в* — двосторонньої дії з постійним гальмуванням в кінці ходу з боку поршня; *г* — із двостороннім гальмуванням; *д* — телескопічний; *е, ж* — мембранний одно- і двосторонній; *з* — плунжерний.	
6. Перетворювачі: *а* — поступальний з одним видом робочого середовища; *б* — поступальний із двома видами середовища; *в* — обертальний із одним видом робочого середовища; *г* — обертальний із двома видами середовища.	
7. Акумулятори: *а* — гідравлічний (без вказівки принципу дії); *б* — вантажний гідравлічний; *в* — пружинний гідравлічний; *г* — пневмогідравлічний.	

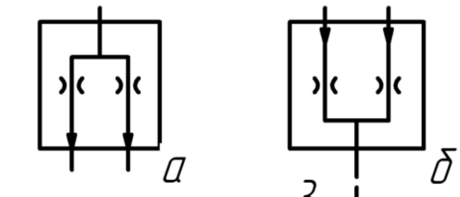
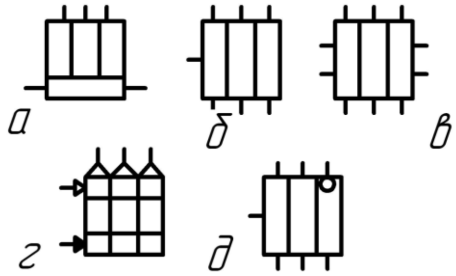
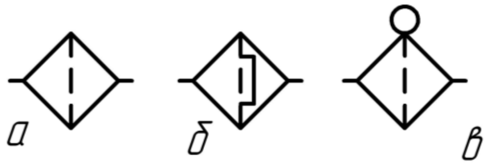
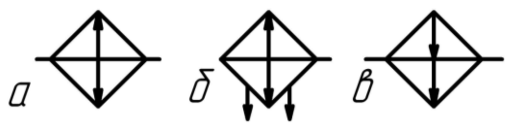
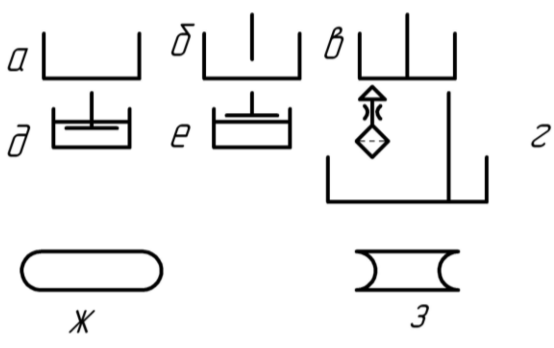
1	2
АПАРАТИ ГІДРАВЛІЧНІ І ПНЕВМАТИЧНІ, ПРИСТРОЇ УПРАВЛІННЯ	
1. Розподільники: *а* — трилінійний з управлінням від кулачка; *б* — чотирилінійний з ручним управлінням; *в* — чотирилінійний з управлінням від електромагнета і вороттям пружиною; *г* — запірний двопозиційний з ручним управлінням; *д* — трипозиційний чотирилінійний з управлінням (двобічне, електро-магнетне); *е* — двокаскадний, трипозиційний, чотирилінійний з електромагнетним управлінням першого каскаду; *ж* — із серво управлінням, і електромагнетним управлінням і безкінечною кількістю позицій (тобто розподільник з пропорційним регулюванням).	
2. Зворотні клапани: *а* — без пружини (відкритий, якщо тиск на вході вище тиску на виході); *б* — з пружиною (відкритий, якщо тиск на вході вище тиску на виході плюс тиск пружини); *в* — із підтиском робочим середовищем.	
3. Гідрозамки: *а* — односторонній; *б* — двосторонній.	

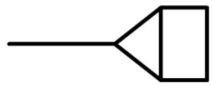
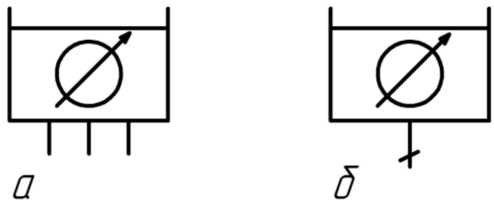
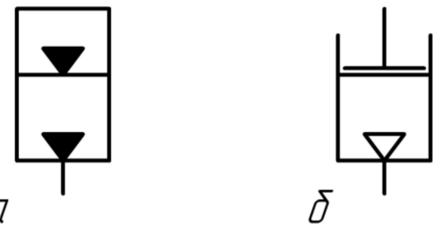
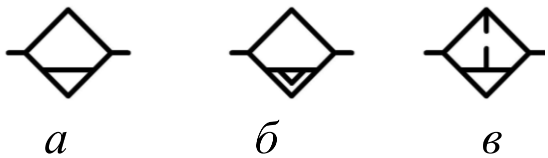
Продовження таблиці 7.5

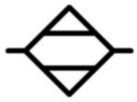
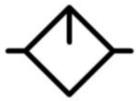
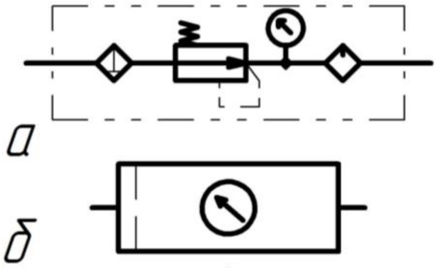
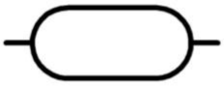
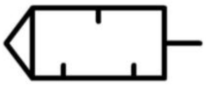
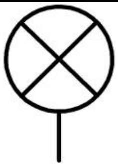
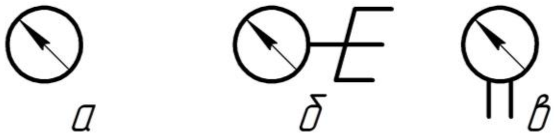
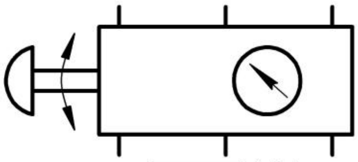
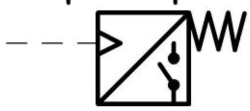
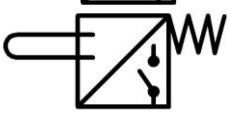
1	2
4. Клапан «ИЛИ» : Вхідна лінія з'єднана з більш високим тиском, автоматично з'єднується із виходом, в той час як інша вхідна лінія закрита.	
5. Клапан «И» : Вихідна лінія перебуває під тиском тільки тоді, коли обидві лінії під тиском.	
6. Клапан швидкого вихлопу: Коли вхідна лінія розвантажена, вихідна є вільною для вихлопу.	
7. Клапан напірний (запобіжний чи переливний): *а* — прямої дії; *б* — прямої дії з дистанційним управлінням; *в* — прямої дії з дистанційним управлінням, пневматичний; *г* — непрямої дії з дистанційним управлінням; *д* — непрямої з пропорційним електромагнетним управлінням.	
8. Клапан редукційний: *а* — одноступінчастий, навантажений пружиною; *б* — із дистанційним управлінням; *в* — двоступінчастий, гідравлічний, із зовнішнім регулюванням вертання; *г* — із скиданням тиску, гідравлічний; *д* — із скиданням тиску пневматичний; *е* — із скиданням тиску і дистанційним управлінням, гідравлічний; *ж* — із скиданням тиску і дистанційним управлінням, пневматичний.	

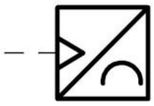
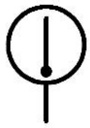
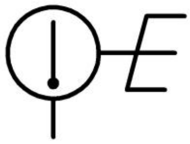
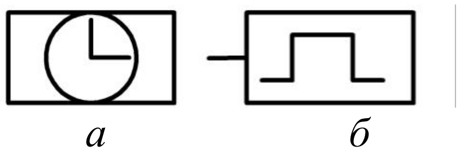
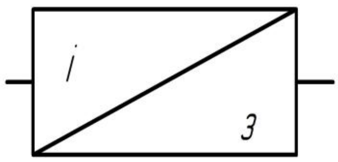
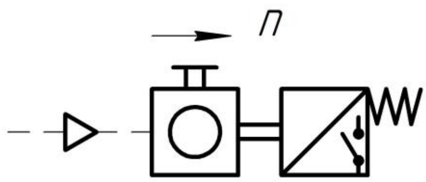
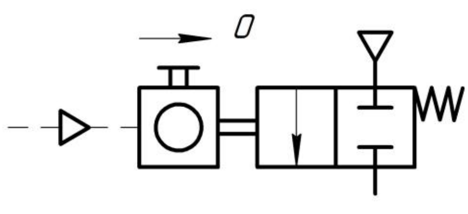
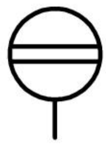
Продовження таблиці 7.5

1	2
9. Клапан різниці тисків.	
10. Клапан співвідношення тисків.	
11. Клапан послідовності, одноступінчастий, навантажений пружиною, на виході може підтримуватись тиск (зовнішній дренаж).	
12. Клапани розвантаження мастильної системи.	
13. Дросель: *а* — нерегульований; *б* — регульований; *в* — регульований із механічним управлінням роликом; *г* — із зворотнім клапаном (із вільним проходженням потоку в одному напрямі, але дроселюванням потоку в іншому напрямі).	
14. Регулятори витрат: *а* — дволінійний із змінними витратами на виході; *б* — дволінійний із змінними витратами на виході і стабілізацією по температурі; *в* — трилінійний із змінними витратами на виході і зливанням збиткових витрат у бак.	

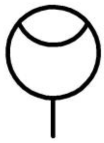
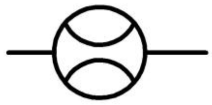
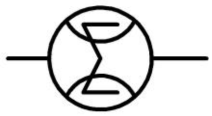
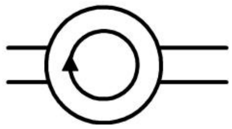
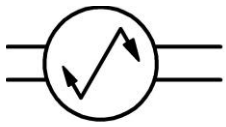
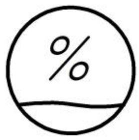
1	2
15. Синхронізатори витрат: *а* — ділильник потоку; *б* — суматор потоку.	
16. Дросельний мастильний дозатор.	
17. Живильники: *а* — імпульсний; *б* — послідовний; *в* — двомагістральний; *г* — масляноплівковий; *д* — з індикатором спрацьовування.	
ІНШІ ЕЛЕМЕНТИ ГІДРОСИСТЕМ	
1.Фільтри: *а* — загальне позначення; *б* — з магнетним сепаратором; *в* — з індикатором забрудненості.	
2.Підігрівник.	
3.Охолодник: *а* — без вказівки ліній підводу і відводу охолоджувального середовища; *б* — із вказівкою ліній підводу і відводу охолоджувального середовища; *в* — охолодник-підігрівник.	
4. Гідробаки: *а* — загальне позначення; *б* — із зливним трубопроводом вище рівня рідини; *в* — із зливним трубопроводом нижче рівня робочої рідини; *г* — із зливним трубопро-	

1	2
водом нижче рівня робочої рідини і повітряним фільтром; *д* — із мішалкою; е — з механічним притисканням; *ж* — із тиском вище атмосферного; *з* — із тиском нижче атмосферного	
5. Заливна горловина, лійка, заправний штуцер і т. п.	
6. Безнапірна ємкісна маслянка (наприклад регульована тривідводна): *а* — детальне позначення; *б* — загальне позначення.	
7. Напірна ємкісна маслянка: *а* — пневматична; *б* — ковпачкова.	
СПЕЦИФІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ПНЕВМОСИСТЕМ	
1.Віддільники вологи: *а* — із ручним відводом конденсату; *б* — з автоматичним відводом конденсату; *в* — фільтр-віддільник із ручним відводом фільтрату.	

1	2
2.Повітресушарка	
3.Маслорозпилювач	
4.Блок підготовки робочого газу: *а* — детальне позначення; *б* — загальне позначення	
5.Зволожувач	
6.Ресивер	
7.Пневмоглушник	
КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ГІДРО- І ПНЕВМОСИСТЕМ	
1.Показник тиску	
2.Манометри: *а* — звичайний; *б* — електроконтактний; *в* — диференціальний	
3.Перемикач манометра	
4.Реле тиску	
5.Вимикач кінцевий	

1	2
6.Аналоговий перетворювач	
7.Термометр	
8.Термометр електроконтактний	
9.Прилад управління роботою мастильної системи: *а* — за часом; *б* — за тактами роботи об’єкта змащення	
10. Мастильний ділильник частоти (наприклад ділильник, в якого мастильний матеріал з’являється на виході після трьох імпульсів на вході)	
11. Лічильник імпульсів із ручним установленням на нуль і електричним вихідним сигналом	
12. Лічильник імпульсів із ручним установленням нуля і пневматичним вихідним сигналом	
13. Показчик рівня рідини	

Закінчення таблиці 7.5

1	2
14. Показчик витрат	
15. Витратомір	
16. Витратомір інтегруючий	
17. Тахометр	
18. Моментомір (вимірник крутних моментів)	
19. Гігометр	

7. ПЕРЕВІРЕННЯ І ВИПРОБУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

Перелік контролюємих параметрів гідрообладнання наведено в табл. 7.6 [24].

У процесі випробування гідравлічного обладнання необхідно здійснювати контроль температури робочої рідини і слідкувати за її параметрами (в'язкістю, чистотою, наявністю повітря і т.п.)

Насоси і гідромотори перед початком випробовувань належить обкочувати на протязі 20–30 хв із послідовним збільшенням навантаження чотирма ступенями до номінального. Реверсивні насоси мають обкочуватись на обох порожнинах.

Все гідравлічне обладнання необхідно перевіряти на герметичність при тисках на 25% більших за номінальні, який вказується у паспорті на кожний вид обладнання

У процесі випробовувань рекомендується виконувати налагодження на робочі параметри запобіжних і редукційних клапанів, напірних золотників і інших регульованих апаратів, а також подачі регульованих насосів.

Таблиця 7.6

Перелік гідрообладнання і параметрів, що підлягають перевіренню

Гідрообладнання	Параметр, що підлягає перевірці
1	2
Насоси регульовані різних типів	• Номінальний тиск • Подача • Приводна потужність • Об'ємний ККД • Робота механізму управління
Гідромотори нерегульовані різних типів	• Номінальний тиск • Номінальна частота обертання • Мінімальна частота обертання • Номінальні витрати • Номінальний крутний момент • Об'ємний ККД
Гідроциліндри	• Номінальний тиск • Внутрішні витоки • Найбільший тиск зрушення* • Найбільший тиск холостого ходу*
Гідроклапани, запобіжні, гідроклапани послідовності (напірні золотники) без і із зворотнім клапаном	• Номінальний тиск • Мінімальний тиск • Перепад тисків при зміненні витрат від номінального до мінімального • Номінальні витрати • Перепад тиску від повного відкриття зливу до перекриття, при якому витоки не повинні

1	2
	• перевищувати встановлену величину • Величина витоків • Перепад тисків на зворотньому клапані (для апаратури із зворотнім клапаном)
Розподільники із ручним, електричним, гідравлічним і електрогідравлічним управлінням	• Відповідність циклу роботи згідно із встановленою для розподільника схемою • Сумарні витоки через зазори розподільника • Мінімальний тиск управління** • Можливість регулювання часу спрацьовування**
Дроселі, дроселі з регулятором, дроселі з регулятором і запобіжним клапаном, дроселі з регулятором і зворотнім клапаном	• Мінімальний тиск • Відхилення витрат робочої рідини при зміненні тиску (тільки для дроселів із регулятором) • Витоки масла через закритий дросель і із дренажного отвору при номінальному тиску • Найменша різниця між тисками на виході і тиском налагодження (тільки для дроселів із регулятором і запобіжним клапаном)
Реле тиску	• Нечутливість на всьому діапазоні регулювання тиску • Витоки через дренажний отвір
Редукційний клапан	• Межі регулювання редукованого тиску, плавність і чіткість налагодження • Стабільність редукованого тиску при незмінному режимі і зміні витрат через клапан налагодження • Стабільність редукованого тиску при зміненні витрат від найбільших до нульових • Стабільність редукованого тиску при зміненні підведеного тиску
Клапани зворотні, гідро замки, клапани підтримуючі	• Чіткість спрацьовування і відповідність установленому циклу роботи

Закінчення таблиці 7.6

1	2
	• Величина витоків • Відкриття клапана при номінальному робочому тиску у над- клапановій порожнині (тільки для зворотніх керованих клапанів) • Плавність регулювання величини підпору (тільки для підтримуючих клапанів)
Ділильник потоку	• Похибка поділу потоку
*Перевірка здійснюється лише тоді, коли обумовлено в технічній документації **Лише у розподільників із гідравлічним і електрогідравлічним управлінням	

Перевірка на герметичність має здійснюватись зовнішнім оглядом. Робоча рідина подається у підвідний канал, а відводні канали при цьому мають бути заглушеними. Час перевірки має складати 0,5–1 хв. При випробування х гідроциліндрів зовнішню герметичність перевіряють додатково при тиску холостого ходу після не менше 50-ти повних подвійних ходів. При цьому допускається утворення масляної плівки на поверхні штока без каплеутворення. Поява робочої рідини у нерухомих з'єднаннях не допускається [24].

Витоки належить визначати при найбільшій допустимій температурі робочої рідини, адже при підвищених температурах її в'язкість значно знижується і, отже, підвищується течкість.

Для випробування гідравлічного обладнання доцільно використовувати випробувальні стенди, які оснащуються установками для фільтрації і охолодження робочої рідини, крім постійних манометрів 4-го класу для безперервного контролю тиску в системі, необхідно тимчасово застосовувати манометри більш високого класу точності на час вимірювання параметрів. При необхідності можна використовувати контактні манометри і датчики тиску, що дозволить реєструвати параметри у формі запису на різних носіях інформації.

ВИПРОБУВАННЯ НАСОСІВ

Схема випробування нерегульованого насоса показана на рис. 7.1, на якій вказані необхідні додаткові гідро- і електроелементи на пристрої.

Подачу, приводну потужність і об’ємний ККД насоса визначають при номінальному тиску і номінальній частоті обертання.

Об’ємний ККД насоса визначають за формулою [24] :

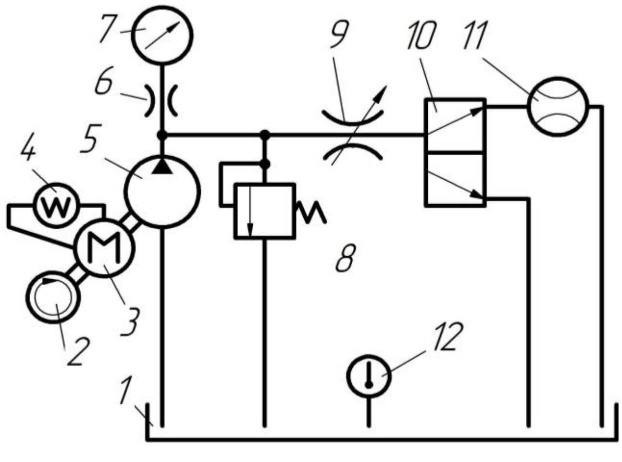
$$\eta_{но} = \frac{Q_н}{Q_о},$$

де Q_{i} — подача насоса при номінальному тиску;

$Q_{\hat{i}}$ — подача насоса при мінімально можливому тиску в напірній магістралі.

Подачі $Q_н$ і $Q_о$ повинні бути приведені до однакової частоти обертання.

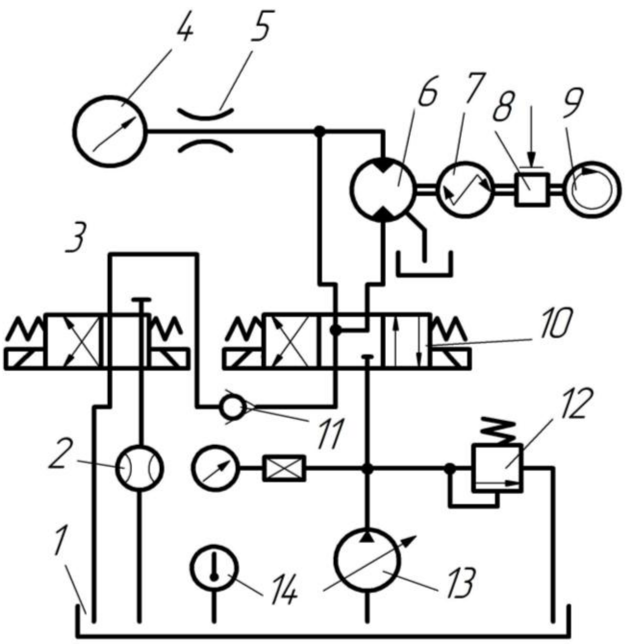
Під час випробування тиск з боку всмоктування має забезпечувати роботу насоса на всіх режимах без кавітації. Запобіжний клапан 8 повинен налагоджуватись на тиск ,що допускається при короткочасному перевантаженні насоса (1,25 від номінального тиску).



1 — бак; 2 — тахометр; 3 — електродвигун; 4 — ватметр; 5 — насос випробування; 6 — демпфер; 7 — манометр; 8 — запобіжний клапан; 9 — дросельний клапан (навантаження); 10 — розподільник; 11 — витратомір; 12 — термометр

Рисунок 7.1

Схема випробувань нерегульованого насоса



1 — бак; 2 — витратомір; 3, 10 — розподільники; 4 — манометр; 5 — демпфер; 6 — гідромотор випробування; 7 — моментомір; 8 — пристрій навантаження; 9 — тахометр; 11 — підпірний клапан; 12 — запобіжний клапан; 13 — регульований насос; 14 — термометр

Рисунок 7.2
Схема випробування гідромоторів

ВИПРОБУВАННЯ ГІДРОМОТОРІВ

Схема випробовувань гідромоторів показана на рис 7.2, згідно з якою витрати робочої рідини, крутний момент і об'ємний ККД мають визначатись при номінальному тиску і номінальній частоті обертання.

Об'ємний ККД гідрометра визначають за формулою [ ].

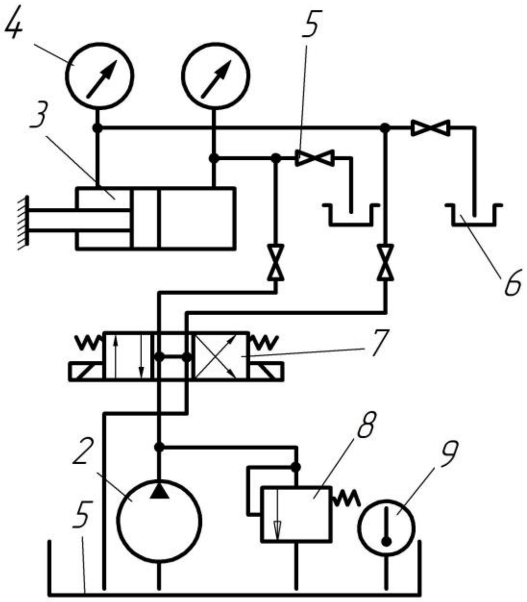
$$\eta_{мо} = \frac{V_{мо} \cdot n}{Q_{в} + Q_{зв}}$$

Де $V_{ом}$ — робочий об'єм гідромотора, см^3/об;
n — частота обертання гідромотора, об/хв.;
$Q_в$ — номінальні витрати робочої рідини, см^3/хв.
$Q_{зв}$ — зовнішні витоки, см^3 /хв.

Робочий об'єм гідромоторів вказується в паспорті чи в іншій документації на гідромотор. Крім того, в роботі [24] описано два методи практичного визначення робочого об'єму: метод мірної ємкості і метод «двох частот обертання».

ВИПРОБУВАННЯ ГІДРОЦИЛІНДРІВ

Схема випробування гідравлічних циліндрів показана на рис. 7.3. Величина внутрішніх витоків рідини визначається в кінцевих і середньому положеннях поршня при тиску не менше 1,25 від номінального на другій хвилині після зупинки поршня і стабілізації тиску. Час вимірювань витоків в кожному положенні має складати не менше 2хв.



1 — бак; 2 — насос; 3 — циліндр; 4 — манометр; 5 — вентіль; 6 — мірна ємкість; 7 — розподільник; 8 — запобіжний клапан; 9 — термометр

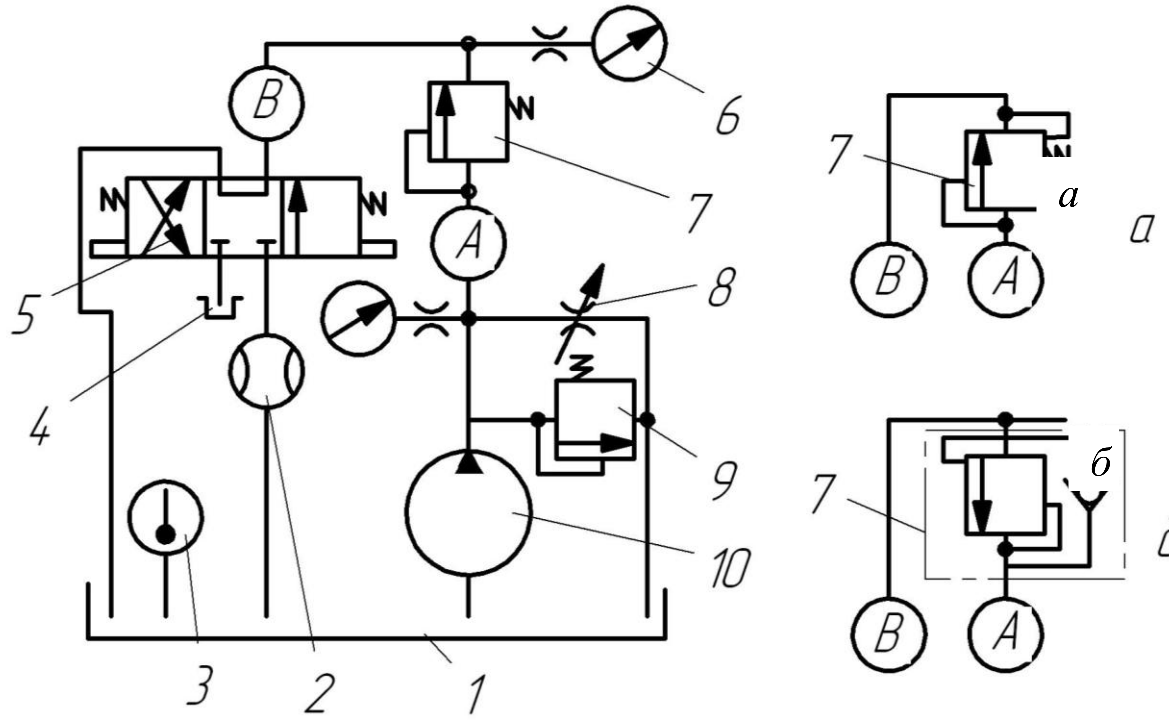
Рисунок 7.3
Схема випробовування циліндрів

Величина тиску зрушення поршня (плунжера) визначається при подачі робочої рідини в одну із порожнин гідроциліндра при поступовому збільшенні тиску до тиску зрушення.

Тиск холостого ходу (без навантаження) визначається після зрушення подачею робочої рідини в одну із порожнин гідроциліндра. Рух поршня (плунжера) при цьому повинен бути плавним.

ВИПРОБУВАННЯ ЗАПОБІЖНИХ КЛАПАНІВ І КЛАПАНІВ ПОСЛІДОВНОСТІ

Схеми випробування цих клапанів показано на рис 7.4. Змінення витрат через дослідний апарат 7 тут забезпечується переналагодженням дроселя 8. Перепад тисків на дослідному апараті визначається різницею показань манометрів, які установлені на вході і виході дослідного апарата. Вимірювання здійснюється мірною ємкістю, а також витратоміром 2, які з’єднуються незалежно один від іншого з об’єктом випробування 7 за допомогою розподільника 5.



1 — бак; 2 — витратомір; 3 — термометр; 4 — мірна ємкість; 5 — розподільник; 6 — манометр; 7 — апарт випробування; 8 — дросель; 9 — запобіжний клапан; 10 — насос

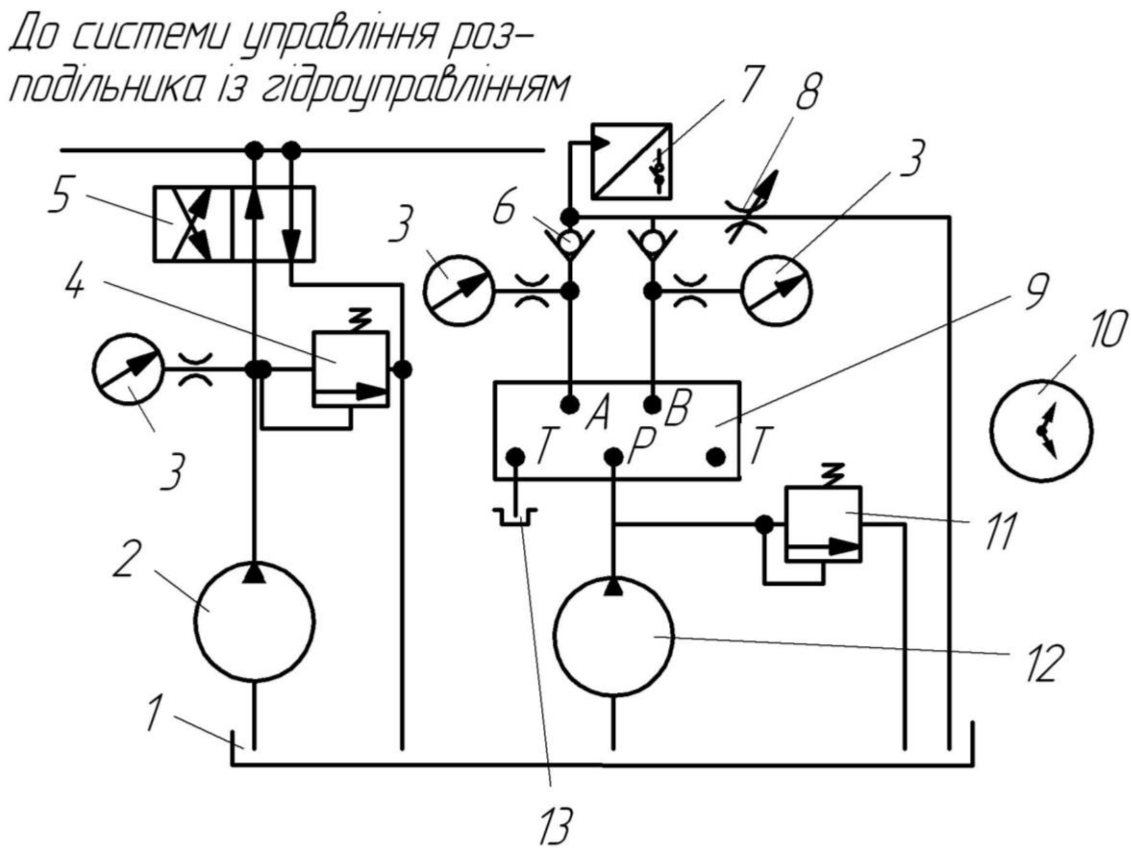
Рисунок 7.4
Схеми випробування запобіжних клапанів, гідроклапанів послідовності (а) і гідроклапанів послідовності із зворотнім клапаном (б)

ВИПРОБУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИКІВ

Схема випробування розподільників із ручним, електричним, гідравлічним і електрогідравлічним управлінням показана на рис. 7.5.

Насос 2 використовується у тих випадках, коли випробуванню піддаються розподільники з гідравлічним і електрогідравлічним управлінням, тобто позиції 2, 3, 4, 5 відносяться до системи управління і не впливають на роботу інших елементів.

Перевірка роботи розподільників здійснюється манометрами 3, які приєднані до відводів розподільника в середньому і крайніх положеннях при номінальному (робочому) тиску. Величина тиску налаштовується запобіжним клапаном 11. Функцію навантажувача виконує дросель 8.



1 — бак; 2 — насос системи управління; 3-манометри; 4,11 — запобіжні клапани; 5 — розподільник; 6 — зворотні клапани; 7 — реле тиску; 8 — дросель; 9 — розподільник — об'єкт випробування (А, В — до циліндрів, Р-підвід, Т-відвід); 10-електросекундомір; 12 — насос; 13 — мірна ємкість

Рисунок 7.5

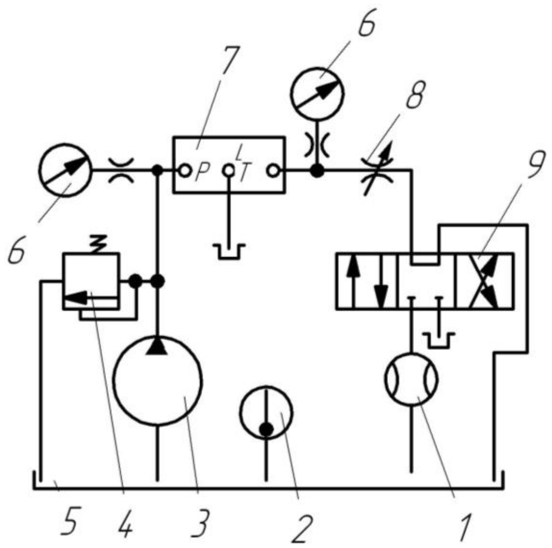
Схема випробування розподільників

Сумарні витоки через зазори розподільника вимірюють в двох крайніх положеннях золотника за допомогою мірної ємкості 13, що з'єднана із зливним отвором розподільника Т. При випробування х розподільників із гідравлічним і електрогідравлічним управлінням виміри здійснюють при мінімальному тиску управління, яке установлюється шляхом відповідного налагодження запобіжного клапана 4 системи управління. При цьому розподільник повинен чутко перемикатись, а його золотник (скалка) утримуватись у крайніх положеннях.

Перевіряння можливості регулювання часу спрацьовування здійснюється за допомогою дроселів, які передбачені в окремих типах золотників.

ВИПРОБУВАННЯ ДРОСЕЛЕЙ

При випробовуванні дроселей (рис. 7.6) виміряють відхилення витрат робочої рідини при зміненні тиску, різницею між тиском на вході і на виході манометрами, витоків масла через закритий дросель із дренажного отвору L. Величина тиску регулюється запобіжним клапаном 4. Витоки вимірюються за допомогою мірної ємкості 10, а витрати рідини, що проходить через дросель, — витратоміром 1.



1 — витратомір; 2 — термометр; 3 — насос; 4 — запобіжний клапан; 5 — бак; 6 — манометри; 7 — об'єкт випробовування дросель (Р-підвід; Т-злив; Д-дренаж); 8 — навантажувальний пристрій; 9 — розподільник; 10 — мірна ємкість

Рисунок 7.6
Схема випробування дроселей

Вихідними показниками нормальної роботи дроселя мають бути: відповідність фактичних витрат витратам, які вказані на шкалі дроселя; здатність дроселя забезпечувати стабільність витрат при зміненні тиску рідини в гідросистемі; допустимі витоки рідини через дренажний отвір і втрати тиску (вказані в паспорті).

Витоки масла через дренажний отвір (при закритому дроселі) здійснюється при номінальному тиску на 2-й хвилині після налагодження тиску.

Різницею між тиском на вході і тиском налагодження перевіряється у діапазоні від мінімального до максимального.

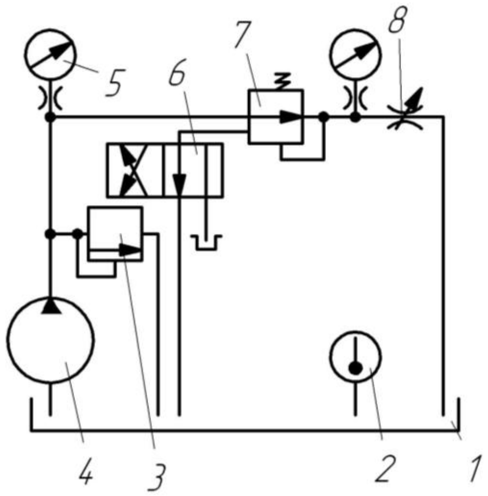
ВИПРОБУВАННЯ РЕДУКЦІЙНИХ КЛАПАНІВ

Схема випробування редукційних клапанів показана на рис. 7.7. Вихідними показниками випробовувань мають бути відповідність меж і плавності регулювання редукованого тиску та його стабільність.

Межі регулювання редукованого тиску перевіряють при номінальному тиску перед клапаном шляхом змінення редукованого тиску, що підлягає налагодженню, у всьому діапазоні тисків. Перевірку здійснюють не менше 2–3 разів.

Стабільність редукованого тиску при незмінному режимі перевіряють за допомогою манометра, що установлений за клапаном, і перекритих (за допомогою пристрою 8) витратах через клапан на протязі 5 хв. Одночасно за допомогою мірної ємкості перевіряють витрати рідини через клапан налагодження.

Стабільність редукованого тиску при зміненні витрат від найбільших до найменших перевіряють за допомогою манометра, який установлений за клапаном, при двох-трьох значеннях витрат і найбільшій і найменшій різниці тисків перед клапаном і за ним.



1 — бак; 2 — термометр; 3 — запобіжний клапан; 5 — манометри; 6 — розподільник; 7 — дослідний редукційний клапан; 8 — навантажувальний пристрій

Рисунок 7.7
Схема випробування редукційних клапанів

Стабільність редукованого тиску при зміненні підведеного до клапана тиску перевіряють за допомогою манометра, який установлено за клапаном, при трьох-чотирьох різних діапазонах тиску перед клапаном і за ним.

Випробування інших гідроелементів досить ґрунтовно описано в роботах [8,24].

8. РЕСУРС ТА НАПРАЦЮВАННЯ ГІДРОПРИВОДІВ І ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

У практиці експлуатації промислових гідроприводів і їх елементів установлено наступні показники надійності: *показник тривкості*

(90-відсотковий ресурс); *показник безвідмовності* (90-відсоткове напрацювання до відмови); *показник збереженості* (середнє значення) [24]. Цими даними користуються експлуатаційники при плануванні обслуговування гідросистем.

90-відсотковий ресурс являє собою напрацювання, на протязі якого 90% елементів не досягає граничного стану, а 90-відсотків напрацювання до відмови напрацювання на протязі якого 90% елементів не отримують першу відмову. Середній термін збереженості — це є середнє статистичне значення термінів зберігання в обумовлених умовах, після чого допускається зменшення показника безвідмовності не більше, ніж на 10%.

Граничний стан це є стан елемента, при якому його експлуатація стає неефективною чи взагалі неможливою через неусувний (при поточному ремонті) вихід заданих параметрів за встановлені межі внаслідок зносу, руйнування основних деталей, чи те й інше.

Для багатоелементних об'єктів, елементи яких в процесі експлуатації замінюються з часом через відпрацювання ресурсу, показники надійності і граничний стан встановлюються умовно по основному елементу-насосу чи по іншому елементу з найменшим значенням показника довговічності (при відсутності насоса). Показники 90% ресурсу і 90% напрацювання та характеристики граничного стану основних видів гідравлічного обладнання наведено в табл. 7.7 [24].

Таблиця 7.7

Характеристики граничного стану основних видів гідравлічного обладнання

Найменування обладнання	90%-вий ресурс (не менше), год	90%-ве напрацювання до відмови (не менше), год	Характеристики граничного стану
1	2	3	4
Насоси пластинчасті нерегульовані на тиск 6,3МПа з робочим об'ємом, $см^3$ 8–40	7000	4000	

Продовження таблиці 7.7

1	2	3	4
63–125 160–224	5000 3000	3000 1500	Падіння об’ємного ККД (коефіцієнта подачі), що вказаний у НТД*, більше ніж на 15%
Насоси пластинчасті нерегульовані на тиск 12,5 МПа з робочим об’ємом, $см^3$ 6,3–32 45–80	5000 3000	3000 1500	
Насоси пластинчасті нерегульовані на тиск 6,3 МПа з робочим об’ємом, $см^3$ 6,3–20 45–80	5000 3000	3000 1500	



Продовження таблиці 7.7

1	2	3	4
Насоси регульовані радіально-поршневі на робочий тиск, не більше МПа: 10 20	 6000 5000	 3000 3000	
Насоси регульовані аксіально-поршневі із торцовим розподіленням на тиск 32 МПа	5000	3000	
Гідромотори пластинчасті на тиск 6,3 МПа з робочим об'ємом, $см^3$: 8–36 71–100 140–200	 5000 5000 3000	 3000 1500 1500	Падіння повного ККД, що вказаний у НТД, більш ніж на 15%
Гідромотори радіально-поршневі високомоментні	4000	2000	
Гідромотори аксіально-поршневі на тиск 6,3 МПа з робочим об'ємом до 160 $см^3$	5000	3000	
Насос-мотори аксіально-поршневі на тиск до 32 МПа	5000	3000	Падіння об'ємного ККД більш ніж на 15%
Комплектний кроковий електрогідравлічний привод	10000	3000	Збільшення похибки кута повороту вихідного вала в 5 разів (відносно вказаного у НТД)

Продовження таблиці 7.7

1	2	3	4
Дроселюючий гідророзподільник із електроуправлінням	5000	2000	Збільшення витрат масла при середньому положенні золотника на 15% (відносно вказаного у НТД)
Гідроциліндри на робочий тиск (не більше), МПа: 10 32	 10 млн. циклів 4 млн. циклів	 0,6 млн. циклів 0,5 млн. циклів	Не усувне заміною ущільнень збільшення витоків більше ніж в 2 рази (відносно вказаних у НТД)
Пневмогідроакумулятори поршневі на тиск до 32 МПа з об'ємом 40л	0,5млн. циклів	0,25 млн. циклів	Порушення герметичності поршня, що не усувається через заміну ущільнень
Гідроклапани запобіжні прямої дії на робочий тиск не більше, МПа: 10 20 32	 1500 1250 1000	 750 600 500	Збільшення витоків, що вказані у НТД, більше ніж у три рази.
Дроселі на робочий тиск не більше, МПа: 20 32	 20000 10000	 5000 3000	

Закінчення таблиці 7.7

Гідрозамки односторонні на робочий тиск до 32 МПа з умовним проходом, мм: до 32 40–80	 6 млн. циклів 3 млн. циклів	 1млн.циклів 1млн.циклів	Збільшення витоків, вказаних у НТД, більше ніж у 3 рази
Гідроклапани послідовності(напірні золотники) на робочий тиск не більше, МПа: 10 20	 20000 14000	 4000 400	Збільшення витоків, вказаних у НТД, більш ніж в 4 рази
Гідророзподільники напрямні на робочий тиск до 32 МПа	6 млн. циклів	3млн.циклів	Збільшення витоків, вказаних у НТД, більш ніж у 1,5 рази
Реле тиску на робочий тиск до 32 МПа	5 млн. циклів	1 млн. циклів	Збільшення витоків, вказаних у НТД, більш ніж у 2 рази
Ділильники потоку на робочий тиск до 20 МПа	10000	3000	
Гідроклапани зворотні модульні	3 млн. циклів	1млн. циклів	
Гідроклапани тиску модульні	10000	3000	
Гідроклапани витримування часу	5 млн. циклів	1млн. циклів	
*НТД — нормативно-технічна документація			

9. ХАРАКТЕРНІ НЕСПРАВНОСТІ В РОБОТІ ГІДРОСИСТЕМ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ УСУНЕННЯ

Особливістю гідросистем є те, що тут неможливо оперативно і одно-значно визначити «слабку» ланку у гідравлічному ланцюзі. Наприклад, установлено, що частота обертання гідромотора нижче за необхідну. Причиною цього, як вказано в роботі [24], можуть бути:

- недостатня подача насоса;
- неправильне налагодження витрат на в ході в гідромотор;
- засмічування редукційного клапана в дроселі з регулятором;
- збільшення втрат робочої рідини в гідросистемі;
- неправильне налагодження запобіжного клапана;
- навантажувальний крутний момент на валу гідромотора вищий за крутний момент, що створюється гідромотором при встановленій частості обертання.

В свою чергу кожний з цих факторів залежить від інших обставин. Наприклад, недостатня подача насоса може спричинятись великими витоками робочої рідини, несправністю самого насоса та інших елементів гідросистеми. В зв'язку з цим виникає необхідність у перевіренні стану цілої низки елементів і побічних факторів гідросистеми.

Для певної орієнтації у визначенні несправності гідросистем можна скористатись табл. 7.8 [24].

Таблиця 7.8

Характерні несправності в роботі гідросистем

Несправність	Причина несправності	Спосіб усунення несправності
1	2	3
Насос не подає робочу рідину	1.Недостатній рівень робочої рідини у баку. 2.Підсмоктується повітря. 3.Занадто висока в'язкість робочої рідини.	1.Долити робочу рідину. 2.Усунути місця підсмоктування повітря. 3.Замінити робочу рідину чи нагріти її до 45–50°С.

Продовження таблиці 7.8

1	2	3
Насос працює з підвищеним шумом, гідробак заповнюється піною, тиск у системі різко коливається. Нерівномірний рух робочих органів	1.Наявність повітря в гідросистемі. 2.Понижений рівень робочої рідини в гідробаку. 3.Несправна манжета. 4.Руйнування деталей нагнітального клапана насоса. 5.Нечітка робота запобіжного клапана внаслідок зносу робочої поверхні сідла чи забруднення робочої рідини. 6.Заїдання робочих елементів насоса(пластина, поршень, плунжер).	1.Перевірити герметичність місць з'єднань всмоктуючих і зливних трубопроводів. Випустити повітря із гідросистеми. 2.Заповнити гідробак до нормального рівня. 3.Замінити манжету. 4.Замінити зруйновані деталі чи насос. 5.Усунути риски і подряпини на робочій поверхню сідла клапана. Промити клапан, замінити робочу рідину. 6.Усунути причини заїдання., промити насос.
Підвищений шум, внутрішні удари, перегрів корпусу насоса	1.Відмовили підшипники насоса. 2.Руйнування вала насоса. 3.Обривання підп'ятника насоса. 4.Заклинили хитні елементи насоса. 5.Засмічення всмоктувальної труби чи фільтра. 6.Засмічення повітря по всмоктувальній трубі чи по валу насоса. 7.Надмірно висока в'язкість робочої рідини. 8.Робоча рідина насичена повітрям (наявність буль-	1.Замінити підшипники. 2.Відремонтувати насос. 3.Ремонт насоса. 4.Ремонт насоса. 5.Прочистити всмоктувальну трубу і промити фільтр чи замінити фільтроелементи. 6.Збільшити занурення трубопроводу і замінити ущільнення носика вала насоса. 7.Нагріті робочу рідину до 45–50ºС.

Продовження таблиці 7.8

1	2	3
	башок повітря в маслі)	8.Встановити в баку додаткові перегородки, що збільшують шлях проходження робочої рідини від зливу до всмоктування.
Нестабільний тиск гідросистеми	1.Заїдання чи руйнування пластин або поршня насоса, що спричиняє підвищений шум. 2.Засмічений демпферний отвір запобіжного клапана чи клапан заклинено у відкритому положенні. 3.Підвищені витоки у гідросистемі	1.Замінити насос чи розібрати його і притерти пластини або поршні до усунення заїдання. 2.Розібрати клапан, промити і притерти. 3.Усунути витоки.
Нерівномірний рух вихідних ланок гідродвигунів	1.Наявність повітря у гідросистемі.	1.Віддалити повітря.
Нерівномірний рух вихідних ланок гідродвигунів	2.Робота на тисках, що близькі до тиску, на який відрегульовано запобіжний клапан. 3.Нерівномірна подача внаслідок руйнування чи заїдання однієї чи декількох пластин або поршней. 4.Перетягнені ущільнення штока циліндра. 5.Недостатній противотиск у зливній порожнині гідроциліндра чи гідромотора.	2.Зменшити робочий тиск чи збільшити тиск налагодження запобіжного клапана. 3.Відремонтувати чи замінити насос. 4.Відрегулювати затягнення ущільнень. 5.Підвищити противотиск на зливній магістралі.

Продовження таблиці 7.8

1	2	3
Нерівномірний рух вихідних ланок гідродвигунів	4.Робота на тисках, що близькі до тиску, на який відрегульовано запобіжний клапан. 5.Нерівномірна подача внаслідок руйнування чи заїдання однієї чи декількох пластин або поршней. 4.Перетягнені ущільнення штока циліндра. 5.Недостатній противотиск у зливній порожнині гідроциліндра чи гідромотора.	2.Зменшити робочий тиск чи збільшити тиск налагодження запобіжного клапана. 3.Відремонтувати чи замінити насос. 4.Відрегулювати затягнення ущільнень. 5.Підвищити протитиск на зливній магістралі.
Відсутність робочого тиску у поршневій порожнині циліндра, повільний рух штока, потьоки масла по штоку(плунжеру)	1.Знос ущільнень.	1.Замінити ущільнення.
Надмірне нагрівання робочої рідини	1.Підвищення тиску в напорній магістралі. 2.Відсутнє розвантаження насоса. 3.Несправність терморегулюючих пристроїв. 4.Утворення накипу у водяній порожнині чи відкладання смоли у масляній порожнині водяного маслоохолодника. 5.Витрати робочої рідини	1.Зменшити тиск. 2.Передбачити розвантаження. 3.Відремонтувати чи замінити терморегулюючу апаратуру. 4.Протравити і промити масло-охолодник. 5.Установити більший чи додатковий маслоохолодник.

Закінчення таблиці 7.8

1	2	3
	не відповідають технічній характеристиці маслоохолодника.	
При вмиканні електромагнітів розподільника не рухається золотник	1.Несправність електромагніта. 2.Підвищений вміст механічних домішок у робочій рідині.	1.Відремонтувати чи замінити електромагніт. 2.Промити деталі гідророзпо-дільника, а також перевірити надійсність фільтрувальних елементів.
Підвищений нагрів котушки електромагніта чи підвищений шум при його спрацьовуванні	1.Попадання забруднення на поверхню контакту між ярмом і якорем. 2.Руйнування демпферного короткозамкненого витка.	1.Усунути забруднення. 2.Замінити електромагніт.

10. КОНТРОЛЬ СТАНУ І ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ГІДРОСИСТЕМ

Періодичність і порядок проведення технічного обслуговування гідро-систем регламентуються технічною документацією з їх експлуатації. Загалом же щоденно перед початком роботи належить перевіряти наступне: рівень робочої рідини у гідробаку; робочий тиск у гідросистемі; швидкість переміщення вихідних ланок гідродвигунів; стан фільтрів; герметичність з’єднань і ущільнень [24].

При наявності у гідроприводі відповідних гідравлічних елементів слід щоденно перед початком роботи перевірити: настроювання реле тиску, робочий тиск у системі охолодження; тиск у газовій порожнині пневмогідроакумулятора; тиск у рідинній порожнині пневмогідроакумулятора; стан манометрів в обох порожнинах пневмогідроакумулятора та інше.

Рівень робочої рідини рекомендовано перевіряти при непрацюючому гідроприводі в такому положенні його робочих органів, коли гідросистема має мінімальний об’єм [24].

Робочій тиск за показаннями манометрів не повинен перевищувати найбільшого значення, яке вказано в технічній документації (інструкціях, інших керівних матеріалах) на експлуатацію. При налагодженні гідросистеми можуть використовуватись додаткові манометри, які після закінчення налагодження належить відключати від гідросистеми. Не допускається використання пошкоджених манометрів, які можуть призвести до втрати контролю над гідросистемою.

Міру забрудненості фільтрелементів, при якій необхідна їх заміна, визна-чають за допомогою індикаторів. Щілинні фільтри очищують двома-трьома поворотами рукоятки.

При пониженому тиску у гідросистемі, перш за все, належить звернути увагу на стан запобіжного клапана з переливним золотником, оскільки через попадання у допоміжний клапан (сідло+кулька) бруду порушиться герметич-ність останнього і, як наслідок, утворення суттєвих витоків робочої рідини. Очищення можна здійснити декількома двобічними поворотами гвинта налагодження тиску. Якщо ж ця дія не вирішує задачу, то належить шукати інші причини. Ними можуть бути несправність насосу чи надмірні витоки рідини через інші елементи гідросистеми.

Причиною зниження швидкості руху гідродвигунів (гідроциліндрів і гідромоторів) може бути засмічення дроселей та облітерація їх каналів. Особливо облітерація (зарощування каналів твердими частками і окислами, що, як правило, перебувають у робочій рідині) має суттєвий вплив при малих витратах рідини. Очистити дросель можна поворотом рукоятки від нульового до максимального положення декілька разів.

Всі перевірки рекомендується проводити у налагоджувальному режимі. При підтіканнях робочої рідини належить підтягнути з’єднання і ущільнення, що має здійснюватись лише при непрацюючих гідроприводах.

Через кожні три місяці експлуатації гідросистем необхідно відбирати проби робочої рідини для фізико-хімічного аналізу стосовно визначення кінематичної в’язкості при 50°C, вмісту води, класу чистоти і кислотного числа. Робочу рідину слід заміняти у випадках, ко-

ли в'язкість змінилась на ±30% по відношенню до вихідної в'язкості, вміст води складає біля 0,2%, клас чистоти не відповідає вказаному в інструкції з експлуатації, кислотне число збільшилось більше ніж на 30% у порівнянні з кислотним числом робочої рідини при поставці.

При цьому слід мати на увазі те, що зменшення в'язкості приводить до погіршення мастильних властивостей робочої рідини і, як наслідок, до підвищення зносу гідрообладнання, збільшуються витоки робочої рідини. Із збільшенням кислотного числа утворюється плівка на деталях, що може призводити до заклинювання клапанів, золотників (особливо при високих тисках через малі зазори у рухомих з'єднаннях гідроапаратури). Збільшення вмісту води у робочій рідині призводить до корозійних явищ в елементах гідросистеми, зниження мастильних властивостей, зменшення в'язкості робочої рідини, утворення хімічних сполук, що покривають тонким шаром робочі поверхні гідроапаратури.

Рекомендується також контролювати і густину робочої рідини [24]. Адже підвищення густини робочої рідини спричиняє до кавітаційних явищ у гідросистемі, зменшує об'ємний ККД насосів, а зменшення густини зменшує мастильну властивість рідини і жорсткість гідропривода, підвищує окисну здатність масла, сприяє піноутворенню. Змінення густини робочої рідини допускається в межах ±10% початкового значення.

Таким чином виходить, що особливу увагу належить приділяти стану робочої рідини, який в значній мірі залежить від ефективності її фільтрування при надходженні в бак як при циркуляції в гідросистемі, так і заправці.

Інші несправності виявлені під час контролю, можна усувати за допомогою заходів, що вказані в таблиці 7.8.

Контроль параметрів гідросистем металургійних агрегатів дуже важли-вий, оскільки несвоєчасне виявлення і усунення порушень у роботі гідросистем призводить до аварії агрегатів і зупинки всієї технологічної лінії з великими матеріальними затратами.

Тому в останні роки для контролю стану насичених гідросистем застосовуються як переносні засоби технічного діагностування, так і постійно діючі діагностичні системи. Переносні засоби описано у п'ятому розділі даного посібника. Зокрема розглянуто датчики, перетворювачі і реле тиску, витратоміри, засоби контролю і виміру тем-

ператури, а також універсальні засоби моніторингу гідросистем у вигляді гідротестерів, що відносяться до складу механічних і електронних.

Проте велика насиченість гідроприводом багатьох агрегатів, численних насосно-акумуляторних станцій на всіх ділянках цехів робить неможливим за допомогою переносних засобів забезпечення своєчасного контролю, обслуго-вування і запобіганню аварій. Тому вкрай доцільно використовувати постійно діючі діагностичні системи, що подають на централізований пульт вичерпну інформацію про технічний стан системи.

Вони складаються із таких же первинних елементів (датчиків), що і в переносних засобах, але установлюються стаціонарно і поєднані загальною електронною системою, яка оснащена комп'ютерною технікою і ґрунтовним програмним забезпеченням, що дозволяє в цілому не тільки оперативно оціню-вати поточний стан агрегату, а й прогнозувати його подальшу працездатність [12].

Розділ 8
Міжремонтне обслуговування механічного обладнання металургійних машин і агрегатів

Міжремонтне обслуговування обладнання є складовою ТО. Воно передбачає виконання наступних операцій: зовнішній огляд обладнання; чищення і змащення обладнання; перевірення роботи запобіжних пристроїв, мастильних і охолодних систем, справності контрольно-вимірювальних приладів і пристроїв автоматики, дії гальм, пристосоване для зупинки механізмів, стан кріпильних деталей, усунення незначних несправностей і т. п.

У склад технічної документації, що розроблюється заводом — виробником обладнання, входять карти (схеми) і таблиці змащення. Ці документи регламентують застосування того чи іншого мастильного матеріалу і періодич-ність проведення робіт по змащенню вузлів тертя. Приклад оформлення карт і таблиць змащення наведено у розділі 6 (пункт 4). До технологічної документа-ції на кожний вид обладнання входять також і інструкції із описом конкретних операцій щодо міжремонтного обслуговування. Тому у навчальних цілях обмежились розглядом прикладів міжремонтного обслуговування лише окре-мого металургійного устаткування. Для цього використано матеріали роботи проф. Сапка О.І., в якій він, на противагу численним роботам інших авторів, дуже добре висвітлив методологію міжремонтного обслуговування окремого електротермічного обладнання [22]. Проте з урахуванням розробки нових мастил зроблено деякі коригування стосовно змащування обладнання та інформаційного доповнення. Також використано матеріали металургійних підприємств.

ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ДУГОВИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

Завантаження печей металобрухтом здійснюється зверху при відкритій ванні. Для цього необхідно відвернути в бік склепіння чи викотити ванну за межі склепіння. В залежності від способу відносного зміщення ванни печі і склепіння розрізняють два основні типи

печей: із викочуванням ванни (серія ДСВ) і поворотом склепіння (ДСП). На нових підприємствах застосовуються остання серія печей (ДСП) місткістю 12, 25, 50, 80, 100 і 200 т. Електропечі середньої серії ДСП-12, ДСП-25, ДСП-50 виготовляються з гідравлічним приводом основних механізмів, електропечі ДСП-100 — як із гідравлічним, так і електромеханічним приводами, електропечі ДСП-200 — з електромеханічним приводами.

Печі оснащено наступними механізмами:

- переміщення електродів (три самостійні механізми, що поєднуються лише системою автоматичного регулювання);
- переміщення і повороту склепіння;
- нахилу печі;
- затиснення електродів;
- управління заслінкою робочого вікна.

Механізм переміщення електродів оснащуються системою автоматичного регулювання (САР), що дозволяє в автоматичному режимі провадити процес плавлення. В залежності від типу привода розрізняють механізми з електроприводом і гідроприводом. Механізми з електроприводом оснащуються як і канатно–барабанною передачею, так і рейковою. За конструктивним виконанням їх розділяють на механізми із рухомими стояками і рухомими каретками. У першому випадку електродотримач кріпиться до стояка, в другому — до каретки. Гідравлічні приводи застосовуються у механізмах із рухомими стояками.

Механізм підйому склепіння. Піднімають склепіння перед завантаженням ванни печі і повороті ванни навколо вертикальної осі (механізми повороту застосовуються лише на окремих печах), а також для установлення склепіння на місце після виконання цих операцій. У печах невеликої місткості склепіння підвішується на підвісках (канатних, ланцюгових, важільних) напівпорталу, які кінематично поєднані із приводом (електромеханічним, гідравлічним). На старих печах ланцюги з'єднуються із гвинтами спеціальних редукторів.

Механізм повороту склепіння на малих печах має поворотну колону, на якій монтується напівпортал з механізмами переміщення електродів і підйому склепіння, що приводиться в обертання (на кут ≈ 90) через відкриту зубчасту передачу (конічну) від електромеханічного привода. На нових печах механізми підйому і повороту

склепіння виготовлюються у вигляді сумісного вузла, складовими якого є головний плунжерний гідроциліндр із конічною голівкою на плунжері (переміщується вертикально) і два бокові плунжерні гідроциліндри, поєднані між собою загальною зубчастою рейкою, що входить у зачеплення із зубчастою нарізкою на головному плунжері. При підйомі і повороті склепіння плунжер головного гідроциліндра піднімається і стикується із відповідним конічним гніздом на металоконструкції напівпортала. При дальшому підйомі плунжера підіймається напівпортал. Поворот здійснюється двома боковими гідро-циліндрами (один у бік відвернення склепіння, інший на його повернення). На великих печах цей вузол установлюється на поворотній платформі (тут поворот склепіння здійснюється шляхом повороту платформи).

Механізм нахилу призначається для нахилу печі при скочуванні шлаку і зливі металу після закінчення плавлення. На сьогодні найбільшого поширення набули сегментні механізми з рейковою передачею і гідравлічні. Тут піч спирається через двох сегментів на фундаментні балки. Для запобігання проковзуванню сегментів по балкам на сегментах зроблено шипи, які входять у лунки на поверхні балок.

Механізм затиснення електродів виконується, як правило, із пружинним затисненням і гідравлічним розтисканням. Для затиснення застосовують спіральні або тарілкові пружини.

Для розгляду питання щодо обслуговування прийнято дугову сталеплавильну піч ДСП-100Н6 місткістю 100 т. Вона оснащена механізмами з гідравлічним приводом і установками фурми і газокисневих пальників із канатною передачею і електромеханічним приводом. Крайні положення рухо-мих частин контролюються кінцевими вимикачами.

Хоча піч оснащена гідроприводами майже всіх механізмів, проте наведено коментарі щодо обслуговування механізмів з електромеханічними приводами. Але карта змащення (рис. 8.1) і таблиця змащення (табл..8.1) розроблені саме для ДСП-100И6.

При огляді механізмів переміщення електродів із гідравлічним приводом поступальної дії необхідно перевіряти наступне:

- надійність кріплення корпусів електродотримачів до рукавів, рукавів до колон, гідроциліндрів до постілі;
- роботу механізмів затиснення електродів;

▪ правильність положення електродів по відношенню до отворів у склепінні печі (концентричність) і стану ущільнень електродів;

▪ кріплення циліндрів і їх кришок,стан грундбукс і ущільнень гідропривода;

▪ справність установлення кінцевих вимикачів.

При використанні механізмів із електромеханічним приводом і рейковою передачею необхідно перевіряти рівень масла у редукторах і при необхідності долити масло, забезпечити задовільне змащення рейкової передачі.

При огляді механізмів підйому і повороту склепіння із гідравлічним приводом, установленим на поворотній платформі, належить перевіряти стан ущільнення гідроциліндрів підйому і повороту до постілі, стан змащення опорних вузлів, катків і підшипників осі поворотної платформи.

Якщо ж піч оснащена механізмами із електромеханічними приводами і канатною, ланцюговою чи важелевою підвіскою склепіння, то необхідно перевірити справність елементів підвіски, кріплення редукторів, електродвигунів, гальм і кінцевих вимикачів, стан змащення редукторів і вузлів тертя.

На протязі зміни необхідно:

▪ слідкувати, щоб поворот склепіння здійснювався тільки після того, як склепіння буде підняте над пісковим затвором і не буде задівати за кожух печі, а при надмірно завантаженій ванні — за шихту; забороняється вирівнювати шихту склепінням і піднімати склепіння краном;

▪ слідкувати за станом піскового затвора, за своєчасним наповненням його піском, щоб в нього не попадали сторонні предмети, оскільки це не дозволить нормально посадовити склепіння;

▪ не підіймати склепіння під час заправлення печі через робоче вікно;

▪ не допускати надмірного завантаження печі шихтою, оскільки при цьому можливі пошкодження кілець склепіння та руйнування електродів;

▪ слідкувати за станом сальників і манжет гідроциліндрів у гідравлічних механізмах підйому і повороту склепіння.

При огляді механізму нахилу електропечі необхідно перевірити:

▪ справність гальм у механізмах нахилу з електромеханічним приводом і рейковою передачею;

▪ забезпечення мастилом вузлів тертя;

▪ стан кріплення підшипників у шарнірах з'єднань рейок і штоків з люлькою, а також перевірити шарніри на предмет наявності шплинтів в осях з'єднань (при рейковій передачі);

▪ стан ущільнень гідроциліндрів, сальників, кріплення кришок гідро-циліндрів;

▪ справність установлення кінцевих вимикачів механізму нахилу печі;

▪ стан поверхонь кочення сегментів люльок та опор портала і опорних роликів механізму викату ванни у печах серії ДСВ.

На протязі зміни необхідно:

▪ перевірити перед нахилом печі на предмет відсутності на поверхнях опорних балок і сегментів сторонніх предметів, що може перешкодити нахилу печі;

▪ слідкувати, щоб перед нахилом ванна була правильно установлена у порталі (для печей серії ДСВ);

▪ при відсутності чи несправності автоблокування слідкувати, щоб при зливанні металу нахил печі не перевищував 40°;

▪ слідкувати, щоб не були замкнені контакти для нахилу печі на кут, більше установленого обмежувачем.

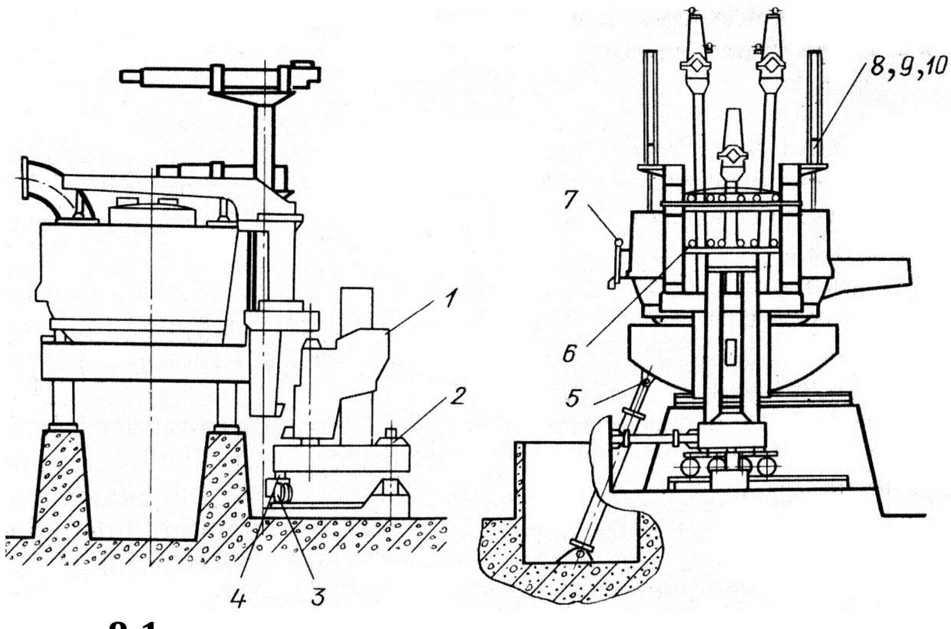


Рисунок 8.1
Карта змащування механізмів печі ДСП-100 И6

Таблиця 8.1

Вказівки що до змащування механізмів печі ДСП-100 И6

Позначення на мал.8.1	Найменування місць змащування	Мастильний матеріал	Періодичність змащування	Кількість витрат мастила, кг.
1	Підшипники роликів каретки	Суллена	1 раз у 10 діб	0,4
2	Підшипники осі поворотної платформи	Суллена	Те саме	0,4
3	Підшипники котків поворотної платформи	Суллена	»	0,4
4	Кульові шарніри циліндра повороту склепіння	ЦИАТИМ 203	»	0,1
5	Кульові шарніри циліндра механізму нахилу	Суллена	1 раз на добу	0,2
6	Підшипники направляючих роликів рухомого стояка	Суллена	Те саме	2
7	Підшипники вала механізму підйому заслінки	Суллена	1 раз на місяць	0,3
8	Сталеві канати фурми і газокисневого пальника	39У	Те саме	0,3
9	Підшипники блоків і роликів кареток фурми і пальника	Графіт С	»	0,3
10	Редуктори фурми і пальника	И-40 А	»	По показнику рівня
Спосіб змащення — ручний. Періодичність заміни мастила — 1 рік.				

ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ РУДНОТЕРМІЧНИХ ПЕЧЕЙ

Руднотермічні печі (РТП) широко використовуються як у кольоровій, так і у чорній металургії. У кольоровій металургії РТП застосовують для плавлення і рафінування при виробництві міді, нікелю, кремнію, олова, цинку, свинцю, титанистих і кобальтових шлаків та інших. У чорній металургії РТП застосо-вуються для виробництва

феросплавів. За споживаною потужністю РТП поділя-ються на такі групи:

1. малої потужності (1,0–2,5 МВА);
2. середньої потужності (5–12 МВА);
3. великої потужності (16,5–100 МВА).

За технологічною схемою їх розділяють на відкриті (РКО, РПО), закриті (РКЗ, РПЗ) і прямокутні (РПО, РПЗ). За способом установлення ванни печі бувають з нерухомою і рухомою ваннами.

На рисунку 8.2 показана схема триелектродної круглої, відкритої із обертальною ванною печі РКО — 16,5 (на схемі показано лише одну електродну систему). Основними виконавчими механізмами печі є механізми переміщення та перепуску електродів, обертання ванни.

Механізми переміщення електродів. В процесі плавки електроди переміщують з метою підтримання необхідного режиму плавлення шихти. В останні роки широкого поширення набули гідравлічні механізми, які відрізняються від гвинтових більш високим ККД і зручністю експлуатаційного обслуговування. Механізми мають гідропідйомник, який складається з двох плунжерних гідроциліндрів і рухомої траверси, і маслостанцію із слідкуючим розподільником.

Механізми перепуску електродів. В міру згорання електродів виникає необхідність їх перепуску, тобто зміщення електродів вниз відносно контактних щік, що вмонтовані у струмопідвідні кільця із пружинно-гвинтовими буксами. Найбільшого поширення на великих печах набули гідравлічні механізми. Такі механізми складаються із двох затискних кілець.

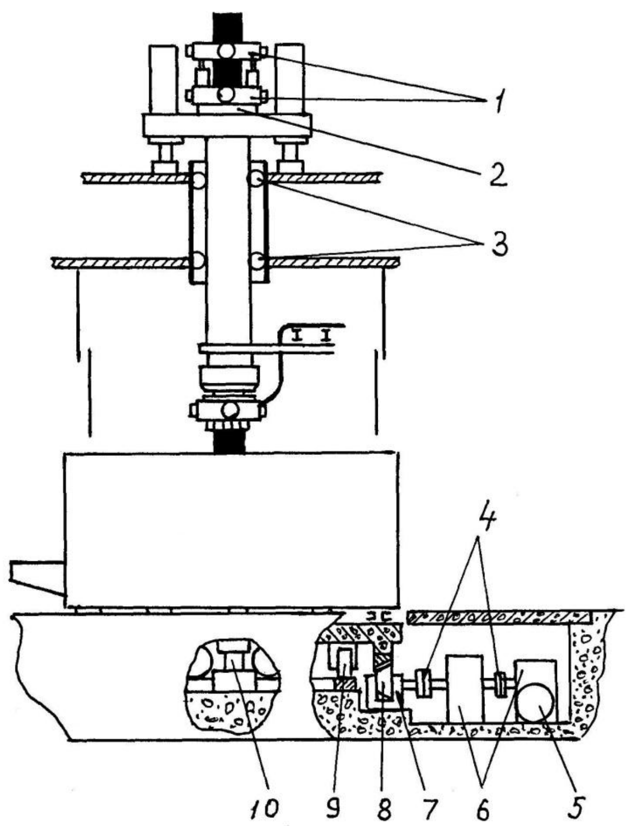


Рисунок 8.2
Карта змащування механізмів руднотермічної печі РКО-16,5

Таблиця 8.2

Вказівки щодо змащування механізмів печі РКО-16,5

Позначення на рис. 8.2	Найменування місць змащування	Мастильний матеріал	Періодичність змащування	Кількість витрат мастила, кг
1	2	3	4	5
1.	Шарніри затискних плит	ЦИАТИМ-203	1раз на 3 міс.	0,3×3
2.	Балансирний пристрій	Суллена	Те саме	0,2×3
3.	Направляючі ролики	Графіт С	Те саме	0,5×3
4.	Зубчасті муфти	ЦИАТИМ-203	Те саме	0,4
5.	Підшипники електродвигуна	ЦИАТИМ-221	1раз на 6 міс.	0,2
6.	Редуктори	И-40А	Постійно	По показнику рівня
7.	Підшипники конічної шестерні	Униол-20	1раз на 3 міс.	0,3
8.	Відкрита конічна передача	Униол-20	1раз на 1 міс.	0,5
9.	Підшипники котків	Униол-20	1раз на 3 міс.	6,2
10.	Підшипники центрувальної осі	Униол-20	1раз на 3 міс.	0,4

Верхнє затискне кільце спирається на нижнє через декілька короткоходових поршневих гідроциліндрів. На деяких печах ці кільця посаджено на балансирний пристрій. Кожне кільце має 6–8 пружинногідравлічних букс, що натискають на шарнірно підвішені натискні плити. Затиснення електродів здійснюється гідравлікою, а розтискан-

ня вмонтованими пружинами. У процесі роботи електрод затискається двома кільцями. При перепуску електродів нижнє кільце утримує електрод, а верхнє підіймається короткоходовими гідро-циліндрами вгору. Після цього електрод утримується верхнім кільцем, а нижнє кільце розтискається і верхнє кільце разом з електродом опускається вниз тими ж короткоходовими циліндрами. Якщо буде необхідна більша величина перепуску, то операція повторюється.

Механізми обертання ванни. Обертальні ванни використовують переваж-но там, де обертання допомагає ефективно боротися із спіканням шихти і газовими порожнинами у реакційних зонах. Обертальна основа печі не впливає на конструкцію ванни, за винятком кількості випускних отворів-льоток. Якщо у стаціонарних печах кількість льоток не перебільшує трьох, то у печах із обертальною ванною — досягає дев'яти.

Найбільш поширені механізм обертання із залізобетонною несучою платформою. Частота обертання ванни дуже мала. Ванни деяких печей роблять один умовний оберт на протязі 32–150 годин. Залізобетонна платформа спирається через опорні котки на кругові рейки. Кількість котків досягає 32–64 шт. Для попередження сходу котків із рейок передбачена центральна вісь платформи.

Змащування механізмів печей здійснюють згідно з картою і таблицею. (рис. 8.2 і табл. 8.2). При огляді механізмів переміщення електродів необхідно перевіряти наступне:

- справність трубопроводів підведення робочої рідини на предмет їх герметичності;
- забезпечення мастилом вузлів тертя;
- стан ущільнень гідроциліндрів, сальників, кріплення гідроциліндрів із траверсою, справність захисних кожухів;
- відсутність перекосу несучої траверси (через можливу несинхронну роботу двох гідроциліндрів).

При огляді механізмів перепуску електродів необхідно перевіряти:

- герметичність трубопроводів підводу робочої рідини до гідроциліндрів з переміщення верхнього кільця;
- герметичність гідропружинних букс;
- кріплення кілець, циліндрів і гідропружинних букс;
- синхронність руху гідроциліндрів переміщення верхнього кільця;
- наявність мастила у балансирному пристрої.

При огляді механізму обертання ванни необхідно перевіряти:

- забезпеченість мастилом вузлів тертя;
- кріплення приводної частини, приводної шестерні, конічного зубчастого вінця, котків і інше;
- стан кругової опорної рейки на предмет збереження цілісності її поверхні і відсутності сторонніх предметів;
- правильність зачеплення відкритої зубчастої передачі;
- справність кільцевих вимикачів.

ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИХ ПЕЧЕЙ (ЕШП)

ЕШП одержали широке застосування при виробництві сталевих злитків і злитків із сплавів на основі заліза. У цих печах одержують злитки масою до 40 т і більше. Суть електрошлакового переплаву полягає у тому, що повторному переплаву під шаром спеціального шлаку піддається металева штанга — електрод. Тепло, яке необхідне для плавлення, виникає при проходженні через розплавлений шлак електричного струму (шлак шунтує струм). Шлак захищає розплав від дії на нього зовнішнього окисного середовища і очищає метал від домішок.

Основними механізмами печі є механізми затиснення і переміщення електрода, переміщення візка кристалізатора. Механізми переміщення електрода і кристалізатора фактично є однотипними і мають вертикально — рухомі каретки із розташованими на них електроприводами і рейкову передачу. Каретки врівноважуються контрвантажем, який з’єднується канатом із кареткою. Сам контрвантаж розташовується всередині порожнистої колони. Привод механізму переміщення електрода складається із двошвидкісного редуктора, двох електродвигунів (постійного і змінного струмів), муфт, гальма і рейкової передачі.

Для роздягання злитків застосовується механізм переміщення кристалізатора. Кристалізатор приводиться в дію від електродвигуна змінного струму, через муфти, черв’ячно-циліндричний редуктор, рейкову передачу.

Механізм затиснення складається з затискних колодок, важільної системи і пневмоциліндра (затиснення здійснюється пружинами, а розтискання — пневмоциліндром).

Візок кристалізатора має електромеханічний привод, що складається із вертикального редуктора, муфти, електродвигуна змінного струму і гальма.

Для утримання обладнання ЕШП у справному стані необхідно:

▪ змащувати механізми згідно з картою змащування (рис. 8.3) і табл.8.3;

▪ старанно оглядати обладнання під час прийому змін і усувати виявленні при цьому незначні дефекти і несправності.

Під час прийому зміни необхідно перевіряти відсутність витоків у системі охолодження елементів печі (кристалізатора, піддона, екранів), стан водоохолоджувальних пристроїв (вентилів, шлангів), температуру охолоджувальної води. Механізми належить оглядати лише тоді, коли піч знеструмлена, тобто, головним чином, у період міжплавочного простою.

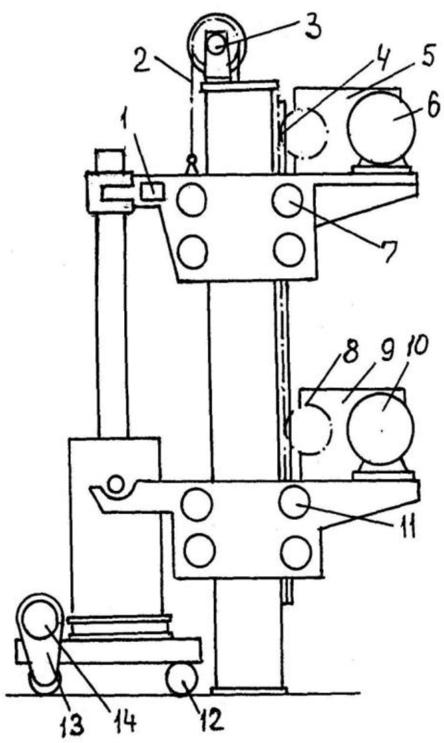


Рисунок 8.3
Карта змащування механізмів ЕШП

При механізмі переміщення електрода необхідно перевіряти:

▪ надійність кріплення голівки електродотримача до рукава, а рукава до каретки;

▪ роботу механізму затиснення електрода;

▪ правильність положення електрода відносно осі кристалізатора;

▪ стан канату зрівноваження і його кріплення;

▪ кріплення рейки, рейкової шестерні, редуктора, двигуна і гальма, напрямного шківа контрвантажа;

▪ рівень масла в редукторі (при необхідності долити).

При огляді механізму переміщення кристалізатора (після відрива злитка) необхідно перевіряти:

▪ стан рейкового значення і його змащення;

▪ рівень масла в редукторі;

▪ кріплення опор рейкової шестерні, редуктора, електродвигуна, гальма;

▪ справність кінцевих вимикачів.

При огляді кристалізатора і піддона необхідно звертати особливу увагу на наступне:

▪ відсутність вм’ятин і прогарів стінок кристалізатора, а також плити піддона;

▪ щільність прилягання кристалі-затора до піддона;

▪ щільність кріплення струмо-відводів до піддона і системи їх охолодження.

При огляді візка належить перевіряти:

▪ кріплення приводної частини і ходових коліс;

▪ рівень масла у редукторі.

Таблиця 8.3

Карта змащування механізмів електрошлакової печі

Позначення на рис. 8.3	Найменування місць змащування	Мастильний матеріал	Періодичність змащування	Витрати масла, кг
1	2	3	4	5
1.	Важільна система із пневмоциліндром	Солідол ЖСХ	1 раз на 3 міс.	0,6
2.	Канати контрваги	Торсиол-35Э	1 раз на міс.	0,5
3.	Підшипники шківа	ЦИАТИМ-203	1 раз на 3 міс.	0,2
4.	Відкрита рейкова передача	Суллена	1 раз на міс.	0,8
5.	Редуктор двошвидкісний	И-40А	1 раз на 3 міс.	По пок. рівня
6.	Підшипники електродвигунів	ЦИАТИМ-203	1 раз на 6 міс.	0,6

Закінчення таблиці 8.3

7.	Напрямні ролики каретки електрода	Суллена	1 раз на міс.	0,75
8.	Відкрита рейкова передача на ділянці кристалізатора	Суллена	1 раз на міс. 1 раз на 1 міс.	0,4 0,5
9.	Редуктор	И-40А	1 раз на 3 міс.	По пок. рівня
10.	Підшипники електродвигуна	ЦИАТИМ-203	1 раз на 6 міс.	0,4
11.	Напрямні ролики каретки кристалізатора	Суллена	1 раз на міс.	0,5
12.	Підшипники котків візка	ЦИАТИМ-203	1 раз на 6 міс.	0,4
13.	Редуктор візка	И-40А	1 раз на 3 міс.	По пок. рівня
14.	Підшипники електродвигуна	ЦИАТИМ-203	1 раз на 6 міс.	0,4

ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ВАКУУМНОДУГОВИХ ПЕЧЕЙ (ВДП)

ВДП можна поділити на двох типів: із витратним електродом і невитратним електродом. У тому і іншому випадках джерелом тепла у ВДП слугує електродуговий розряд між електродом (катодом) і рідкою ванною у водоохолоджуваному тиглі (кристалізаторі).

Печі застосовуються для наплавлення злитків сталей (тип ДСВ), титану (тип ДТВ), молібдену та інших тугоплавких металів (тип ДДВ), ніобію (тип ДНВ).

Для розгляду прийнято піч ДСВ-6,3 на максимальний діаметр злитка 0,63 м і масу 6 т (рис. 8.4). Основними механізмами печі є механізми: пере-міщення електрода, вертикального переміщення кристалізатора з гідравлічним приводом (циліндром), відкату кристалізатора, розвантаження злитка (роз-вантажувальний стіл), притиску кристалізатора до камери печі, затиску злитка при розвантаженні.

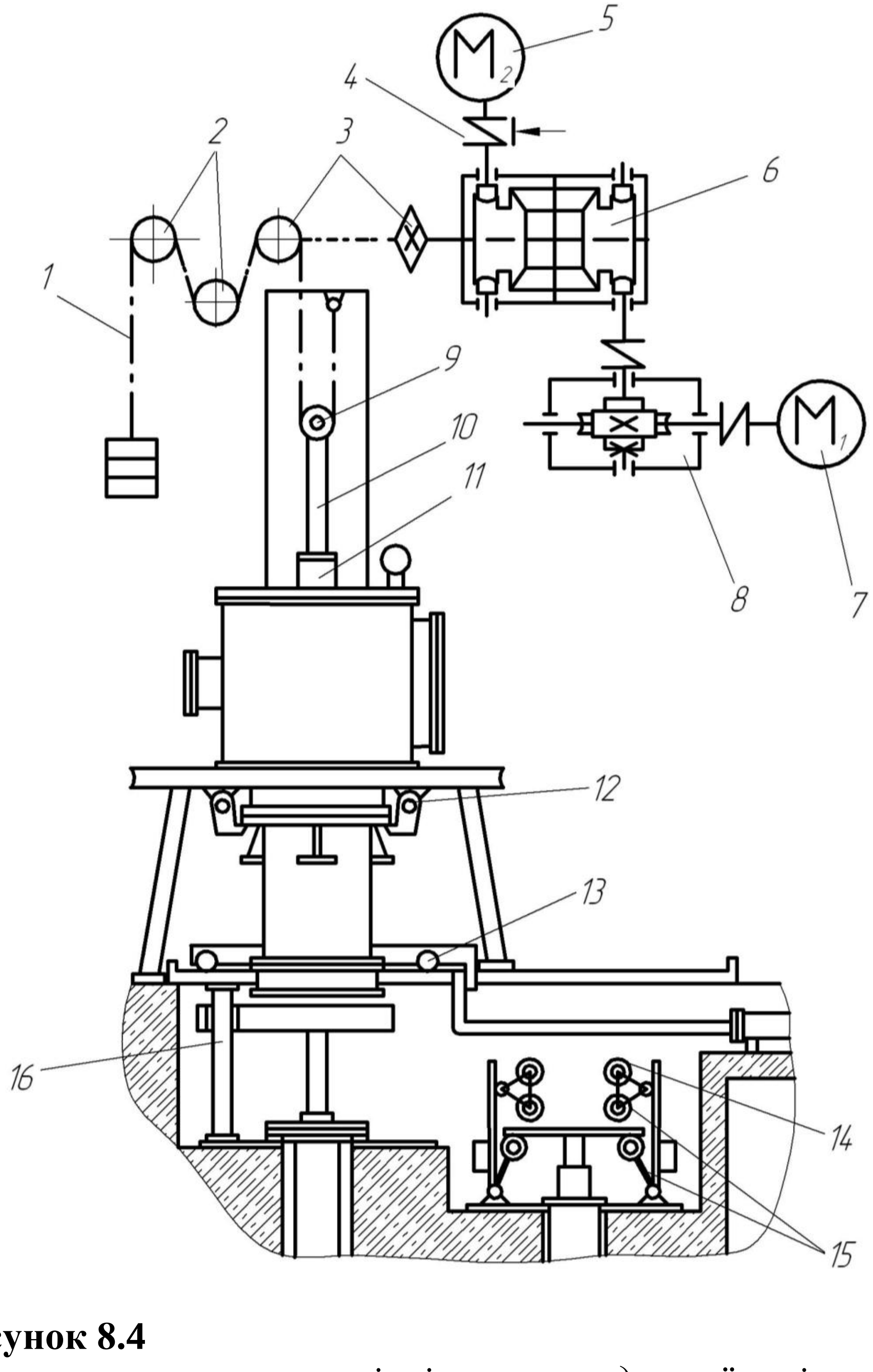


Рисунок 8.4
Карта змащування механізмів вакуумнодугової печі

Механізм переміщення електрода складається з ланцюгової передачі, ланцюг якої одним кінцем кріпиться до металоконструкції печі, а до іншого кріпиться противага. При цьому ланцюг обходить приводну і напрямні зірочки. Приводна зірочка безпосередньо посаджена на вихідний вал диференціального двошвидкісного редуктора

(рис. 8.4). Робоча швидкість (2,0 … 20 мм/хв) перемі-щення електрода створюються електродвигуном постійного струму M_1, який приєднується через додатковий черв'ячний редуктор. Маршова швидкість (прискорена) здійснюється від електродвигуна змінного струму M_2 безпосередньо через диференціальний редуктор.

Механізм вертикального переміщення кристалізатора складається із столу з напрямною колоною і поршневого гідроциліндра. Призначенням механізму є переміщення кристалізатора вниз разом із піддоном і злитком при закінченні плавки і переміщення кристалізатора вгору разом із піддоном і новим електродом при підготовці печі до нової плавки.

Механізм притиску кристалізатора до камери печі складається із важілей, захватів і короткоходових гідроциліндрів.

Механізм відкату кристалізатора оснащено поршневим гідроциліндром, на штоці якого закріплено захват. Його призначенням є викочування криста-лізатора за межі габаритів печі (в зону дії крана) кристалізатора разом із піддоном і злитком на викатному візку (каретці) після закінчення плавки і закочування кристалізатора разом із приєднаним до нього піддоном і новим електродом.

Механізм розвантаження злитка. Після викочування кристалізатора до місця розвантаження розвантажувальний стіл підіймають гідроциліндром до упора в піддон. Роз'єднують кристалізатор і піддон. Кристалізатор вивільняють від злитка шляхом опускання останнього разом із піддоном і столом. Потім кристалізатор краном передають на допоміжну дільницю для очищення і ревізії. Далі злиток підіймають у крайнє верхнє положення і прибирають краном.

У нижньому положенні розвантажувального столу злиток затискується механізмом затиску злитка, який складається із двох двоплечих важелів, на яких закріплені обойми із затискними роликами, тягарів і опорних роликів. У верхньому положенні столу важелі розведені під дією тягарів. При переміщенні злитка вниз гідроциліндром механізму розвантаження злиток діє на опорні ролики і здійснює поворот важелів і затиснення злитка.

Змащування механізмів ВДП здійснюють згідно з картою (рис. 8.4) і табл. 8.4.

На додаток до перерахованих вище технічному обслуговуванню і прави-лам догляду і експлуатації механізмів ЕШП при технічному

обслуговуванні ВДП належить урахувати ряд додаткових вимог, обумовлених особливостями конструкцій цих печей і технології наплавлення злитків.

Цикл плавлення ВДП при наплавленні злитків складається із наступних технологічних операцій.

1.Підготовка печей. При підготовці до роботи ВДП здійснюють старанне очищення кристалізатора (на спеціальному стенді), вакуумної камери, штока і оглядових віконець. Потім електрод установлюють і центрують у кристалізаторі і з'єднують зі штоком механічним кріпленням. Після закріплення на штоці електрода.

У процесі складання необхідно старанно слідкувати за станом ущільнень на стиках кристалізатора з піддоном і вакуумною камерою, а також контактних поверхонь. Герметичність ущільнень перевіряють за значенням зовнішнього натікання (пропускання у середину печі повітря). Рівномірність контакту періодично контролюють шляхом нанесення на одну із площин тонкого шару фарби з наступним наглядом за відбитком на площі стикування.

2. Відкачування вакуумної камери до необхідного тиску. Відкачування здійснюється форвакуумним, а потім бустерним насосами. У процесі відкачу-вання періодично контролюють змінення тиску у робочому просторі камери плавлення, за яким визначають натікання. Коли натікання стає постійним і прийнятним, то відкачування призупиняється. Значення зовнішнього натікання регламентується вимогами технології і залежить від кінцевого складу газів у металі.

3. Плавлення розпочинається із запалювання дуги між електродом і металевим темплетом, що укладається на піддоні. Далі, по мірі сплавлення електрода і наповнення кристалізатора рідким металом, дуга горить між електродом і поверхнею металу у кристалізаторі. Нагляд за процесом плавлен-ня проводиться через перископ.

4. Охолодження злитка. Охолодження здійснюється у печі під вакуумом.

5. Розбирання печі. Розбирання містить операцію напускання атмосфер-ного повітря у робочий простір і удалення злитка.

При огляді механізму переміщення електрода необхідно перевіряти:

- стан кріплення зірочок (приводної і напрямних), редукторів, електродвигунів, гальма, справність ланцюга і кінцевих вимикачів;

▪ стан штока і вакуумного ущільнення, систему водоохолодження штока.

При огляді механізму вертикального переміщення стан перевіряють на кріплення столу до гідроциліндра, кріплення напрямних колонок, справність ущільнень гідроциліндра і кінцевих вимикачів.

При огляді механізмів притиску кристалізатора до камери печі перевіря-ють кріплення захватів, гідроциліндрів та стан ущільнень гідроциліндрів.

При огляді механізму відкату кристалізатора перевіряють справність видатного візка (каретки), надійність спрацьовування захвату та стан штока і ущільнень гідроциліндра.

При огляді механізму розвантаження злитка перевіряють кріплення до штока гідроциліндра та стан ущільнень і штока гідроциліндра.

При огляді механізму затиску злитка перевіряють кріплення та стан важільної системи.

Таблиця 8.4

Карта змащування механізмів вакуумнодугової печі ДСВ-6.3

Позначення на рис. 8.4	Найменування місць змащування	Мастильний матеріал	Періодичність змащування	Витрати мастила , кг
1.	Рамко-пластинчатий ланцюг	ИЦП-40,39У	1 раз на 3 міс.	0,75
2.	Підшипники напрямних зірочок	Солідол ЖСХ	1 раз на міс.	0,4
3.	Підшипники напрямної зірочки	Солідол ЖСХ	1 раз на міс.	0,2
4.	Зубчаста муфта	Солідол ЖСХ	1 раз на 3 міс.	0,3
5.	Підшипники електродвигуна	ЦИАТИМ-203	1 раз на 6 міс.	0,3
6.	Диференціальний редуктор	И-40 А	1 раз на кварт.	20

Закінчення таблиці 8.4

7.	Підшипники електродвигуна	ЦИАТИМ–203	1 раз на 6 міс.	0,3
8.	Черв’ячний редуктор	И-40 А	1 раз на кварт.	10
9.	Підшипники зірочки	Солідол ЖСХ	1 раз на 3 міс.	0,3
10.	Шток	ВМ-4	1 раз на 10 днів	0,2
11.	Вакуумне ущільнення	ВМ-4	1 раз на 10 днів	0,2
12.	Осі важільної системи	Солідол ЖСХ	1 раз на міс.	0,3
13.	Підшипники котків	Солідол ЖСХ	1 раз на 3 міс.	0,4
14,15	Осі роликів і важків	Солідол ЖСХ	1 раз на 3 міс.	0,25
16	Напрямні колонки	Солідол ЖСХ	1 раз на міс.	0,4

Подібним чином здійснюється технічне обслуговування і інших металургійних машин і агрегатів.

Література

1. Автоматизированные смазочные системы и устройства / под. ред. Д.Н. Гаркунова. — М: Машиностроение, 1982. — 176с.
2. Барков А.В., Баркова Н.А., Азорцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторних машин по вибрации: Спб: Изд. Центр СПбГМТУ, 2000. —169с.
3. Биргер А.И. Техническая діагностика. — М.: Машиностроение, 1988 — 240с.
4. Вереньов В.В., Большаков В.І., Путнокі О.Ю., Корінь А.О., Мацко С.В. Діагностика і динаміка прокатних станів. Монографія. Дніпропетровськ: ІМА — прес. — 2007. — 144 с.
5. Галай Э.Н., Каверин В.В., Колядко И.А. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1991. — 320с.
6. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студ. вищих навч. закладів. — К.: Каравела , 2003. — 408с.
7. Гасвик Д.Т. Справочник смазчика. — М.: Машиностроение, 1990. — 352с.
8. Гидравлическое оборудование металлургических цехов. Иоффе А.М., Кукушкин О.М., Наумчук Ф.А., Левчук Б.К., Сергияни В.М. — М.: Металлургия, 1989. — 248с.
9. Гидропривод в металлургии. Праздников А.В. — М.: Металлургия, 1973. — 336 с.
10. Гребеник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. Повышение надежности металлургического оборудования: Справочник. — М.: Металлургия, 1988. — 688с.
11. Грищук М.В. Основи охорони праці : Підручник. — К.: Кондор, 2007. — 240с.
12. Жук А.Я., Малышев Г.П., Желябина Н.К., Клевцов О.М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. Монография. — Запорожье: Изда-тельство ЗГИА, 2008. — 550 с.
13. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П. Основи наукових досліджень в сфері практичної механіки. Книга 2. Експериментальні дослідження: Навчальний посібник. — Запоріжжя: ЗДІА, 2008. — 205 с.

14. Жук А.Я., Желябина Н.К., Теория и практика приводов. Учебник в 3-х кн.. Кн. 2 / Запорожье: Издательство ЗГИА, 2001 — 220 с.

15. Иванков И.И. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин: Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1991. — 400 с.

16. Касаткин Н.Л. Ремонт и монтаж металлургического оборудования. — М.: Металлургия, 1971. — 310с.

17. Киселев Г.Ф., Мыслицкий Е.Н. Техническое обслуживание и ремонт центробежных компрессорных машин. — М.: Химия, 1979. — 128 с.

18. Кружков В.А., Чиченев Н.А. Ремонт и монтаж металлургического оборудования. — М.: Металлургия, 1985. — 320 с.

19. Модернизация и долговечность агломерационного и доменного оборудова-ния. Арист Л.М., Тылкин М.А. — М.: Металлургия, 1973. — 448 с.

20. Механизация ремонтов металлургических агрегатов. Залкинд А.С. — М.: Металлургия, 1988. — 238 с.

21. Надежность, ремонт и монтаж технологического оборудования заводов цветной металлургии. Колев К.С., Ягупов А.В., Выскребенец А.С. — М.: Металлургия, 1984. — 224с.

22. Сапко А.И. Монтаж, накладка и ремонт механического оборудования электротермических установок. –М.: Энергоатомиздат, 1990. — 315 с.

23. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин: Учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — К.: НМК ВО, 1992. — 368 с.

24. Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Эксплуатация промышленных гидро-приводов. — М.: Машиностроение, 1984. — 176 с.

25. Смазка металлургического оборудования. Гедык П.К., Калашников М.И.: Металлургия , 1971. — 376 с.

26. Сырицин Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1990. — 248 с.

27. Трение, смазка и износ в машинах. Костецкий Б.Ц. — К.: «Техника», 1970. — 396 с.

Додаток Д.1
Перелік змінного обладнання

АГЛОМЕРАЦІЙНЕ ТА ВИПАЛЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Борти палет агломераційних і випалювальних машин, броні перекидних стволів агломашин, броні завитків нагнітачів, основні та покривні диски роторів ексгаустерів, покривні диски міксерів, колосники палет агломераційних і виплавлю вальних машин, палети та колосники палет, завиткові живильники випалювальних печей, грати лінійного охолоджувача, ролики палет та спікальних візків, спікальні та випалювальні візки, ротори ексгаустерів, труби Вентурі мокрого очищення.

КОКСОХІМІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО

Блок імпелера флотомашини, бункери завантажувальних машин, вібратори для обвалювання шихти вуглезавантажувальних вагонів, силонів, розвантаження залізничних вагонів, телескопічні лійки регулювання висоти навантаження бункерів, голівки виштовхувальних штанг коксових печей, приймальні горловини та кришки стояків коксових батарей. Ємкості накопичення проб шихти, вугілля, коксу, затвори башт, горловин і кришок стояків коксових батарей. Затвори коксування та коксових рамп, каретки механізму чищення дверей коксових машин, коксонапрямна ванна, ходові колеса та колісні пари коксових машин, копіри управління затворами коксових рамп, барабанні кристалізатори та їх пластини, планірні люки та кришки планірних люків, лопаті імпелерів, відбірники проб шихти, вугілля, коксу, патрубки печей і стояків, перегородки розрівнювання шихти трамбувально-завантажувальних машин, плити коксових рамп, рамні плита полотен фільтрів, піддони фасувальні, рампи та кришки завантажувальних люків, розсікачі коксогасильних вагонів та опалювальних систем печей, сегменти вакуум-фільтрів, секції внутрішньої насадки масообмінних апаратів, сопла пневмообвалювання бункерів і силосів вугільних бащт, струни електро-фільтрів, змивні тарілки мийних апа-

ратів, струменеформувальні пристрої грануляторів, шибери бункерів вугленавантажувальних вагонів, виштовхуваль-ні штанги та штанги дверезнімальних машин, планірні штанги.

ДОМЕННЕ ВИРОБНИЦТВО

Амбразури повітряні шлакові, балки пічні водоохолоджувані доменних печей, бандаж коксодробарок розсіву коксу, броні грохотів коксу, броні скіпів, лійки малих конусів засипних апаратів, вантажі вимірників рівня шихти, затвори скипів коксової дрібноти, діжки повітряні, ковші чавуновозні, кришки чавуновозних ковшів, контактні пояси засипних апаратів, розподільники шихти, сегменти горловин холодильників, вивантажувальної, завантажувальної та конусної частин, сопла повітряних фурм.

ФЕРОСПЛАВНЕ ВИРОБНИЦТВО

Голівки електродотримачів феросплавних печей, дно та кільця шлаковень, кожухи льоток, контактні щоки натискних кілець.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Балки підп'яткові, п'ятові водоохолоджувані передніх стінок мартенівських печей, голівки затравок для витягання зливків з кристалізаторів установок безперервного розливання сталі, шоломи і горловини шломової частини та днища конверторів, гребки водоохолоджувані, затравки на електрошлакових і вакуумних електродугових печах, кристалізатори вакуумно-дугових, електрошлакових, електронно-променевих і плазмодугових печей та установок безперервного і напівбезперервного розливання сталей, льотки бункерів для засипки порогів, мундштуки та хоботи завалочних машин, надставки під мульди на стелажах, підвіски склепіння мартенівських печей, піддони мідні вакуумно-дугових і електрошлакових печей, пристрої навісні для перевезення виливниць, надставок піддонів, центрових, ро-

лики вторинного охолодження та кристалізаторів установок безперервного розливання, стрижні механізму регулювання струменя металу та пристрій захисту струменя рідкого металу аргоном, штанги виміру температури рідкої сталі, електродотримачі електродугових печей.

ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО

Балки підвісні кришок і кришки нагрівальних колодязів та балки методичних нагрівальних печей, барабани, сегменти і конуси моталок і розмотувачів, броні льоткові нагрівальних колодязів та подові стендів ковпакових печей, посад нагрівальних печей, буфери пружинні, валки опорні, диски розмотувачів, затвори шиберні димоходів та кільця горловин кришок нагрівальних колодязів, корзини травильних ванн, лінійки коперні і лінійки маніпуляторів, люльки кантувачів металу і підйомно-поворотних столів, напрямні апарати ковпакових печей, подина печі з висувним подом, ролики (маніпуляторів, окалинозламувачів, прес проводок, рольгангів нагрівальних печей, завалочних і травильних агрегатів та агрегатів різання, станини), сідла опорні, стакани запобіжні та шлакові, столи провідкові летючих ножиць, візки штовхачів, упори укладальників листів, щоки моталок.

КАЛІБРУВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Камери пальникові методичних нагрівальних печей, прокладки розподільні бугелів газових печей, різцеві голівки токарно-обдиральних верстатів і ліній, грати бугелів, сухарі чавунні правильно-відрізних автоматів, екрани захисні газових печей.

КОВАЛЬСКО-ПРЕСОВЕ УСТАТКУВАННЯ ОСНОВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Броні заслінок та грати піддонів.

ТРУБОПРОКАТНЕ ТА ТРУБОЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Бленди та двері установок промивання та установок нанесення покриття лінії праймування, бленди камер установок знежирювання і промивання труб та бленди прохідні установок зовнішнього окалино-очищення, брехшпинделі, броні (плити) камер дробометів, вкладиші дефектоскопів установок ультразвукового контролю труб, лійки трубозварювальних станів, вставки в дорнові замки, вштовхувачі та виштовхувачі зливків прошивних станів, голівки (калібруючі, ущільнення кінців труб, центратора для зварювання труб), диски (опорні і упорів преса гідравлічного випробування труб), дробометні установки зовнішнього та внутрішнього очищення труб, заштовхувачі ланцюгові станів зовнішнього зварювання, клини настроювання положення установки хроматування і зливколомачів, кільця дорнові, ломхоботи кантувальних машин, лопатки дробометів, мундштуки станів внутрішнього зварювання, надставки вштовхувачів прошивних станів та штока екструдерного агрегату, напрямні дорни, ножі напрямні всіх типів, напрямна голівка гідромеханічного експандера стана зварювання труб у середовищі CO_2, оправка внутрішня з роликами стана зварювання труб у середовищі CO_2, відбійники упора (болванки нагрівальних печей), охолоджувачі (холодильники) темперуючих апаратів зон нагріву екструдерних агрегатів, планки (контактні прошивних станів) та притискні прошивних станів), підвіски нагрівальних печей, призми гідропритискачів, призми (опорні і упорні), провідки шпиндельні, різьбові надставки притискного гідроциліндра збирального преса, ролики (верхній притискний стикозварювальної машини; копіювального пристрою трубовідрізних верстатів; важеля плазмотрона установки плазмового різання труб; бандажі екструдерних агрегатів; зацентрівників заготовок; кантувальні станів зовнішнього зварювання; кантувальні трубопрокатного та трубозварювального станів; магнітні трубозварювальних станів; напрямні та підтримувальні трубних моталок; напрямні калібруючих голівок; напрямні кромкодеформувального стана; закруглювальної секції калібруючих голівок; оправок кромкоформувальних станів, притискні догибочних машин; прикату-вальні та напрямні екструдерних агрегатів; зварювальних клітей станів зварювання труб; трайбапаратів; центрувальних

пристроїв кромкостругальних верстатів), сектор затискання труб трубопідрізних верстатів, змінні шестерні зварювальної голівки трубозварювального стана, сопла установки знежирю-вання і промивання труб, стакани упорно-регулювального механізму вироб-ництва труб із заготівок, візки для термічної обробки труб, штовхачі прокатних кантувальних машин і зштовхувачі труб, вузли (верхніх і нижніх опорних роликів кромкостругальних верстатів; обертання заднього упору стикозварю-вальної машини; упорного ролика зачисного пристрою), фланці, втулки, шайби замкові, манжетотримачі випробувальних голівок гідравлічних пресів випро-бовування труб, хоботи машин завантаження і вивантаження кільцевих печей, центрувачі, ланцюги ланцюгового заштовхувача кромкодеформувального стана, шайба мотальна з розпіркою установки намотування штаби агрегату поздовжнього різання, шайби магнітні листоукладальників трубоелектрозварю-вальних агрегатів, шайби ножові мотальних установок поздовжнього різання штаби, шибери пільгерстанів, шина масивна косорозташованих роликів установки для нанесення покриттів на труби, шнек екструдерного агрегату, штанга прошивного стана зовнішнього зварювання труб, електрод зварювальний у складі стана зварювання труб малого діаметра.

ТРУБОЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

Втулки кристалізаторів, кристалізатори при напівбезперервному способі виробництва труб, патрони для стрижнів, піддони при карусельному і відцентровому способах виробництва труб, розтруби при карусельному і напівбезперервному способах виробництва труб, ролики кристалізаторів, стрижні металеві і чаші при напівбезперервному способі виробництва труб.

МЕТВИРОБНЕ ВИРОБНИЦТВО

Барабани (living рознімні канатних машин і волочильних станів, бедро для виробництва металевих сіток, гільзи, штоки, втулки напрямні обмазувальних пресів деформатори пресові, каретки канатних машин,

котушки та шпулі для дроту, котушки розмотувачів, кільця станів мокрого волочіння, механізми обтискні та витяжні для обтискання сталок, мильниці волочильних станів реформувальні голівки, рихтувальні пристрої, ролики ланцюгів волочильних станів, збирачі прядей в канатних машинах, столи провідкові робочих клітей, шпулі зарядних котушок канатних машин.

ВОГНЕТРИВКЕ ВИРОБНИЦТВО

Броні (притискні, проміжні, розпірні прес-форм, столів пресів), днища живильників, ланки шнеків стрічкових пресів, клини кріплення броней (плит) дробарок і млинів (косинці), кільця ущільнювальні та листи стирання завантажувальних кареток і столів пресів, конуси гарячих голівок печей, холодильників і сушильних барабанів, кришки розтиральних сит, кришки оглядові тонельних, кільцевих, періодичних і газокамерних печей, к’юбелі для сипучих матеріалів, мундштуки стрічкових пресів, плити проміжні (тумби), полиці металеві вагонеток, рукава та змінні рухомі каретки механічних пресів, труби шнекових живильників обертальних, нагрівальних печей (трубошнеки), пристрої пересипні сушильних барабанів і холодильників.

ЛИВАРНЕ УСТАТКУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ЦЕХІВ

Броні (підмодельні; підопокові; пресуючі), лійки для дрібноти, гідрозатикачі, дуги, ківшики валів голівок піскометів, пульверизатори, грати землерозпушувальні, ролики фарбомішалок і рамної мішалки, стрижні ливарні, центри глухі та обертові, шаблони для набивки футеровки.

ЗАГАЛЬНЕ ЗМІННЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РІЗНОМАНІТНИХ ВИРОБНИЦТВ

Арматура привалкова прокатних і трубопрокатних станів (проводки; пропуски;обвідні апарати тощо), арматура проводкова диско-

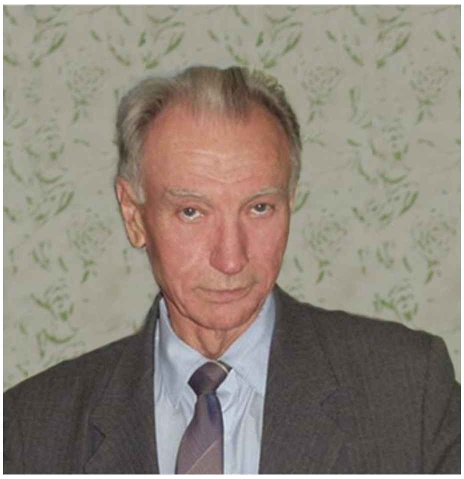
вих і кромко кришильних ножиць та робочого вікна печей, баби кульові та копрові, балки бугелів та рейкоп'ятові, балки і бруси околодки, ванни для нагрівальних методичних і термічних печей, бандажі бігунів помельних і змішувальних, валкових дробарок і пресів вальцевих котлів коксодробарок, барабани кабельні та маятникових пилок, болти кріплення броні з гайками, бронесита, броні (бронеплити та облицювання у бігунів помельних і змішувальних; дробарок; на стику робочих майданчиків; підпуансонні; порогові; розкочувального стола; шлаковиків; печей; млинів; барабанів змішувачів; вентиляторів млинових та парогвинтових; жолобів; тічок; бункерів; лотків; класифікаторів; обранування заслінок; відбійних щитів вагоноперекидачів; парогвинтових нагрівачів; живильників; пресів; холодильників прокатних станів), бруси подові та труби глісажні методичних нагрівальних печей, бугелі, бункери подачі сировини та напівфабрикатів, бутари млинів, вали з лопатями і пір'ями (глиномішалок, змішувачів, шнеків), ванни (вакуум-фільтрів; для покриттів, мастил та кислот), гвинти змінні стрічкових пресів, лійки (навантажувальні, розвантажувальні, льотникові), пальники печей, включаючи сопла та горловини, деки (вакуум-фільтрів та дозаторів флотоагентів), диски живильників, дозатори, жолоби та лотки (транспортування сипучих, рідких матеріалів, шлаку, відходів, напівфабрикатів, готових виробів та робочих тіл), заслінки вікон печей, затвори барабанні бункерів, затвори (шиберні гарячого дуття; димових лежаків; сталерозливальних котлів), зуб'я (грейферів; ковшів гідравлічних і гусеничних екскаваторів; коронок для сколювачів футеровки й охолодей в ковшах для розливання чавуну), виливниці, пробки виливниць, додаткові надставки до виливниць, кришки виливниць, центрові виливниць, касети прокатних станів і вертикальних валків прокатних станів, котки бігунів, глином'ялок, кесони газові, ковші (для рідких феросплавів; дозувальні, та роздавальні; лебідок скреперних, елеваторів, ковшових та крокуючих екскаваторів, навантажувачів тощо), ковші проміжні для розливання сталі у виливниці, ковші установок безперервного розливання сталі, ковші при напівбезперервному та відцентро-вому способах труболиварного виробництва та шлакові, коліна фурмених приладів, колеса робочі землесосів і піскових насосів, колосники грохотів, млинів, дробарок, печей випалювальних, сушильних і обертових, ковпаки ковпакових печей, кільця сводові феросплавних та електроста-

леплавильних печей та їх ущільнювальні кільця електродних затискачів, контейнери (контейнерні коробки, реторти, корзини), коробки для сировини та напів-фабрикатів і технологічних відходів, корзини дезінтеграторів і центрифуг, корпуси внутрішні насосів піскових, шламових і землесосів технологічних, димососів і вентиляторів гарячого дуття, кришки завалочних вікон печей та сталеплавильних ковшів, крюки, скоби, кліщі для захвату та транспортування виробів, лійки розвантажувальні дешламаторів, лінійки напрямні прокатних станів, листи пісочних затворів нагрівальних колодязів, лопаті, лопатки (крилатки) мішалок, змішувачів, бігунів, стрічкових пресів, холодильників, обертових печей, сушильних барабанів, шнеків, люльки підвісні елеваторів, люнети металообробних верстатів, мульди, муфелі, приробки стрічкових пресів, напрямні моталок і проводки ув'язувальних машин кантувальних пристроїв, насоси (прохідницько шламові та травильних ванн), носки зливних жолобів розливальних ковшів та змінні носки електрогармат, відвали глиномішалок, бігунів помельних та змішувальних, патрубки (вихідні бункерів, виливниць, тунельних, кільцевих, періодичних і газокамерних печей), живильники завиткові млинів, плити обпалювальні, вибухової ями, піддони для виливниць, кокілей та напівфабрикатів і готових виробів, ролики (жолобчасті, копіювальні, напрямні, опорні, подавальні, притискні та рольгангів правильних і правильно-полірувальних, промаслювальних та мийних машин; тягнучі правильних машин, фрикційні), ротори (димососів, газодувок, вентиляторів горячого дуття та шламових насосів), рукава рукавних фільтрів, сегменти зубчастих валків валкових дробарок, сектори перегородок трубних млинів та тарілчастих живильників, секції склепінні нагрівальних електричних печей, сітки, сита, скіпи, сковзали, скоби травильних ванн, змінні опорні вузли для прокатних валків на підшипниках рідинного тертя, прошивних, прокатних, калібрувальних, правильних і трубопрокатних станів, змінні опорні вузли для прокатних валків на підшипниках кочення тих же станів, совки завантажування металобрухту в конвертер, сопла гідромоніторів, спіралі класифікаторів, стопори сталерозливальних ковшів, шлакові стопори, стропи, струни електрофільтрів (осаджувальні електроди, візки для відкочування ковшів і виливниць у ливарному виробництві, тічки навантажувальні і розвантажу-вальні, тиглі, фурми (повітряного і кисневого дуття; пальників нагрівальних печей та

шлакових льоток), чаші шлакові, шлакові для рідкого шлаку, шнеки бігунів, живильників та пресів, штанги витовхувачів та виштовхувачів заготовок.

ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ УСТАТКУВАННЯ

Барабани шлюзових живильників, приводні, натяжні та відхильні стрічкових конвеєрів, боковини (лінійки) конвеєрів, грейфери грейферних і магнітогрейферних кранів, захвати прейценкранів, керни кліщів стриперних кранів, кліщі кранів, колісні пари мостових кранів, колісні пари спеціального рухомого складу (трансферкарів, заправних і завалочних машин, торкрет-машин, чавуновозів), крюки кранів, магнітні шайби кранів, полотна пластин живильників, труби, лотки, жолоби вібраційних конвеєрів, щелепи грейферних кранів для сипких матеріалів і шлаків.



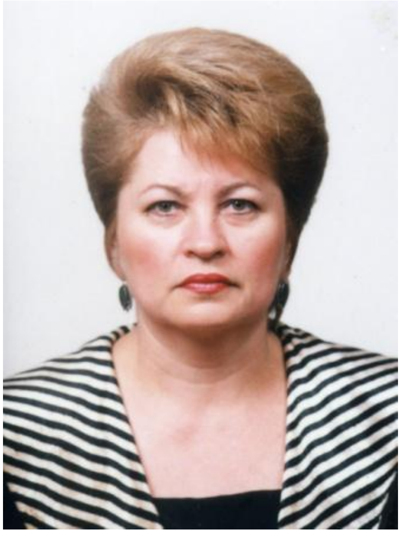
Жук Анатолій Якович

Кандидат технічних наук, професор. Народився 27 березня 1939 р. у м. Кіровоград. У 1965 р. закінчив Дніпропетровський металургійний інститут за спеціальністю «Механічне обладнання металургійних заводів». У сфері вищої освіти пройшов шлях від лаборанта до завідувача кафедри з 1987р. Зробив значний внесок в розвиток вищої освіти, а в сфері наукової діяльності - в створенні механічного обладнання та технологій спецелектрометалургії. Має понад 300 наукових та науково-методичних праць, серед яких біля 20-ти підручників та навчальних посібників з грифом МОНУ. За плідну працю нагороджений медалями ВДНГ, нагрудними знаками «За отличные успехи в работе» (Держкомосвіти СРСР, 1986 р.), «Відмінник освіти України» (Міносвіти України, 1998 р.), присуджено Першу премію (Держкомосвіти СРСР, 1990 р.).



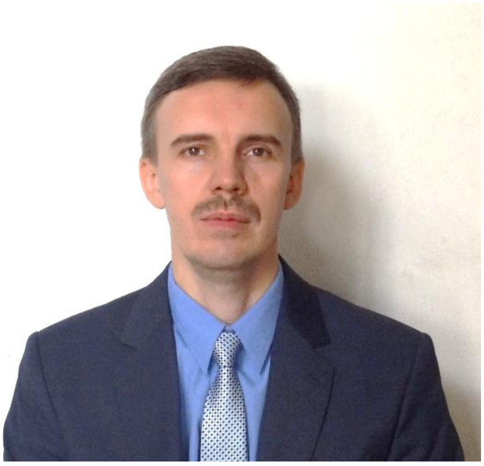
Малишев Георгій Петрович

Кандидат технічних наук, професор ЗДІА. Народився 5 серпня 1950 р. у м. Запоріжжя. Вищу освіту здобув у 1972 р. (Запорізький машинобудівельний інститут ім. В.Я. Чубаря). З 1975 р. працював старшим інженером у науково-дослідній лабораторії зносостійких та холодостійких сталей та сплавів Мінкольормету СРСР при ЗМІ ім. В.Я. Чубаря. Вів наукові роботи з підприємствами кольорової металургії міст Норильська, Красноярська, Братська, Ачинська, підприємствами Кольського півострова. В 1982 році захистив кандидатську дисертацію за темою «Дослідження та розробка сплаву, стійкого у середовищі анодних газів алюмінієвих електролізерів». В ЗДІА працював з 1985 р. на посаді доцента кафедри механічного обладнання металургійних заводів, а в останні роки завідувача цієї ж кафедри. Загалом мав близько 120 наукових і науково-методичних праць. За заслуги та довголітню сумлінну працю нагороджений Почесною грамотою МОНУ.



Желябіна Надія Кіндратівна

Кандидат технічних наук, професор ЗДІА. Народилася 8 листопада 1947 р. у м. Запоріжжя. У 1970 р. закінчила з відзнакою Запорізький машинобудівельний інститут ім. В. Я. Чубаря за спеціальністю «Авіаційні двигуни», інженер-механік. У 1984 р. захистила кандидатську дисертацію на тему «Моделювання процесів накопичення пошкоджень при складних режимах навантаження». З 1984 р. працює в ЗДІА на посадах асистента, доцента, декана енерго-механічного факультету. З 1998 р. — проектор з навчально-виховної роботи ЗДІА. За результатами досліджень опубліковано понад 160 робіт, у т.ч. 11 навчальних посібників, з яких 6 з грифом МОНУ. Відзначена багатьма почесними грамотами, дипломом Запорізької обласної державної адміністрації, Почесними грамотами Міністерства освіти і науки України.



Таратута Костянтин Васильович

Кандидат технічних наук, доцент. Народився 3 жовтня 1974 р. в м. Запоріжжя. У 1997 р. закінчив Запорізьку державну інженерна академію з відзнакою, здобув вищу освіту за спеціальностями: «Металургійні машини та устаткування» та «Економіка підприємства». Працював в прокатному цеху ВАТ «Дніпроспецсталь». В 2004 році захистив дисертацію на тему «Розробка та удосконалення способів та пристроїв для зниження енергосилових параметрів процесу волочіння дроту» за спеціальністю «Процеси та машини обробки тиском» та отримав диплом кандидата технічних наук. В 2005 році присвоєне вчене звання доцента кафедри «Металургійного обладнання». З 2005 року працює на посаді доцента кафедри «Металургійного обладнання» Запорізької державної інженерної академії. В 2007–2009 роках приймав участь у проекті Організації об’єднаних націй з промислового розвитку (ЮНІДО) та отримав сертифікат експерта з промислового розвитку. Має понад 90 наукових та науково-методичних праць, серед яких 2 навчальні посібники з грифом МОНУ. За наукові досягнення присуджено стипендію Кабінету Міністрів України.

Навчальне видання

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Керівник видавничих проектів: Ястребов А.О.
Друкується в авторській редакції
Дизайн обкладинки: Тишківська Н.М.
Комп'ютерна верстка: Тишківська Н.М.

Підписано до друку 29.05.2017 р.
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman, Myriad Pro.
Умовн. друк. аркушів — 16,62.
Обл.-вид. аркушів — 9,41.
Тираж 300 прим.

ТОВ «Видавничий дім «КОНДОР»
Свідоцтво серія ДК № 5352 від 23.05.2017 р.
03067, м. Київ, вул. Гарматна, 29/31
тел./факс (044) 408-76-17, 408-76-25
www.condor-books.com.ua